This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

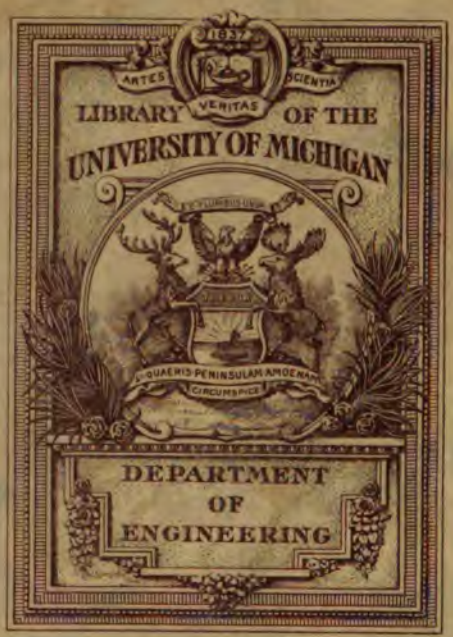
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TA
2
.S68

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

Nota. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

Paris. — Imp. de P.-A. Bourdier, Capiomont fils et Cie, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860.

ANNÉE 1869

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

26, RUE BUFFAULT, 26

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

RUE DES SAINTS-PÈRES, 54.

1869

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1869)

N° 5

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Installation des nouveaux Membres du Bureau et du Comité* (séance du 8 janvier, page 39).

2° *Changement de voie, système Vander-Elst et C^ie^*, par M. Cuinat (séance du 8 janvier, page 50).

3° *Conditions de travail. Utilisation et résultats de divers systèmes de machines-marines*, Lettre de M. de Fréminville (séance du 22 janvier, page 52).

4° *Signaux de chemins de fer pouvant remplacer sur une ligne en courbes ceux actuellement en usage*, par M. Robert (séance du 22 janvier, page 53).

5° *Théorie des voûtes* (*Application de la*) *à l'établissement des ponts en fer*, par M. Yvon-Villarceau (séance du 22 janvier, page 54).

6° *Milieux isotropes* (*Note sur les*) *et sur les treillis isotropes. Application au calcul des ponts et charpentes*, par M. Desmousseaux de Givré (séance du 22 janvier, page 57).

7° *Navigation fluviale par la vapeur* (séance du 5 février, page 60).

8° *Enseignement technique*, par MM. E. Flachat, Mony et Tresca (séances des 5 et 19 février, pages 60 et 74).

163350

9° *Endiguements, desséchements et mise en culture des polders ou lais de mer*, par M. Le Cler (séances des 19 février et 5 mars, page 80 et 98).

10° *Modifications des Statuts* (séance du 26 février, page 88).

11° *Compteurs secs et humides pour le gaz*, par MM. Maldant et Ball (séances des 5 et 19 mars, page 101 et 109).

12° *Tabliers métalliques; Études des charges uniformément réparties équivalentes par leurs effets aux charges distinctes d'exploitation*, par M. Leygue (séance du 19 mars, page 111).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, une note sur l'*Application de la théorie des voûtes à l'établissement des ponts en fonte.*

2° De M. Delesse, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de sa Note sur la *Distribution de la pluie en France.*

3° De M. Faliès, membre de la Société, un exemplaire des *Rapports présentés par le conseil d'administration du chemin de fer de Mamers à Saint-Calais.*

4° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, une *Photographie représentant les Présidents de l'institution of Mechanical Engineers :* MM. Penn, R. Napier, Whithworth et Fairbairn.

5° De M. Bergeron, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur un *Nouveau système de pose de rails pour les chemins de fer.*

6° De M. Nadault de Buffon, ingénieur en chef, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Submersions fertilisantes comprenant les travaux de colmatage, limonage, irrigations d'hiver.*

7° De M. Baudry, éditeur, un exemplaire du *Cours de chimie inorganique, d'après la théorie typique de M. Gerhard,* par A. Daschelet.

8° De M. Lucien De Puydt, un exemplaire de son *Rapport sur le percement de l'isthme du Darien.*

9° De M. Marco-Martinez, membre de la Société, une note sur l'*Ex-*

plosion de la boîte à feu d'une locomotive, arrivée à Santander le 25 août dernier.

10° De M. Ferdinand de Lesseps, membre de la Société, un exemplaire de l'*État d'avancement des travaux de l'Isthme de Suez.*

11° De M. Delesse, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de la *Revue de géologie pour les années* 1866 *et* 1867.

12° De M. Perrault, tanneur, un exemplaire de son *Rapport sur le matériel et l'outillage mécanique de la tannerie et de la mégisserie à l'Exposition universelle de* 1867, et un exemplaire de sa *Notice sur l'écorçage du chêne et la production et la consommation des écorces à tan en France.*

13° De M. Pariset, fabricant de soieries, membre de la chambre de commerce de Lyon, un exemplaire de son *Rapport sur l'ouvrage de M. Alcan*, intitulé : *Études sur les améliorations du matériel des arts textiles à l'Exposition universelle de* 1867, et un exemplaire de la *Revue rétrospective des soieries à l'Exposition internationale de* 1867.

14° De M. Jules Morandière, membre de la Société, des *Renseignements statistiques sur les chemins de fer français*, et une Note sur les *chemins de fer d'intérêt local*, par M. Morandière père, ingénieur en chef, directeur de la construction à la Compagnie d'Orléans, et un exemplaire des *Comptes rendus annuels de l'Association amicale des anciens Élèves de l'École des mines de Paris.*

15° De M. Grand fils, ingénieur, une Note sur son *Procédé d'étamage des tuyaux en plomb.*

16° De M. Faliès, membre de la Société, un exemplaire d'un *Rapport sur le matériel de la voie et sur le type des stations du chemin de fer d'intérêt local de Mamers à Saint-Calais.*

17° De M. Deperais, membre de la Société, un exemplaire d'un Mémoire intitulé : *Agli adulteramenti dell' olio di oliva ed i modi di riconoscerli e definirli.*

18° De M. Antonio Zannoni, ingénieur-architecte, un exemplaire de son *Progretto di riattivazione dell' antico acquedotto Bolognese.*

19° *Annales industrielles*, le numéro de janvier et de février.

20° De la Société des ingénieurs civils d'Ecosse, *leurs Bulletins* du premier trimestre de 1869.

21° De l'institution *of Mechanical Engineers*, les numéros de mai et juin 1868 de son bulletin.

22° *De la Société industrielle de Reims*, les numéros de novembre et décembre 1868 de son bulletin.

23° De la *Revue horticole*, les numéros du premier trimestre 1869.

24° De la *Gazette du Village*, les numéros du premier trimestre 1869.

25° De la *Société des ingénieurs autrichiens*, leur *Revue périodique;* les numéros du quatrième trimestre 1868.

26° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, le numéro 2 de 1869.

27° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, le numéro du deuxième trimestre 1868 de son bulletin.

28° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du premier trimestre 1869.

29° De la *Revue d'architecture*, les numéros 7, 8, 9 et 10 de l'année 1869.

30° De la Revue *les Mondes*, les numéros du premier trimestre 1869.

31° Du journal *The Engineer*, les numéros du premier trimestre 1869.

32° De la *Société d'encouragement*, les numéros du premier trimestre 1869 de son bulletin.

33° De la *Société de géographie*, les numéros du premier trimestre 1869 de son bulletin.

34° De la *Société impériale et centrale d'agriculture*, le numéro de novembre 1868 de son bulletin.

35° Du journal *l'Invention*, les numéros du premier trimestre 1869.

36° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du premier trimestre 1869.

37° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du premier trimestre 1869.

38° De la *Revue contemporaine*, les numéros du premier trimestre 1869.

39° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du premier trimestre 1869.

40° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du premier trimestre 1869.

41° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du premier trimestre 1869.

42° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du premier trimestre 1869.

43° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du premier trimestre 1869.

44° Du journal *le Cosmos*, les numéros du premier trimestre 1869.

45° Du *Génie industriel*, les numéros du premier trimestre 1869.

46° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du premier trimestre 1869.

47° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

48° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du premier trimestre 1869.

49° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du premier trimestre 1869.

50° Du *Propagateur des travaux en fer*, le numéro du premier trimestre 1869.

51° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du premier trimestre 1869.

52° De la *Propagation industrielle*, le numéro de janvier 1869.

53° Du journal *Engineering*, les numéros du premier trimestre 1869.

54° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de janvier, février et mars 1869.

55° Du *Comité des forges de France*, les numéros 45, 46 et 47 du bulletin.

56° De la *Société industrielle de Mulhouse*, le numéro de janvier 1869 de son bulletin.

57° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du premier trimestre de 1869 de son bulletin.

58° Des *Annales des mines*, les numéros de la quatrième et cinquième livraison de 1868.

59° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros de mai, juin, juillet et août 1868.

60° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, les numéros du premier trimestre 1869.

61° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du premier trimestre 1869.

62° *Société impériale des sciences de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro de décembre 1868 de son bulletin.

63° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, numéros de septembre et octobre 1868.

Les Membres admis pendant le premier trimestre sont :

Au mois de janvier :

MM. Armengaud fils, présenté par MM. Alcan, Thirion et H. Tresca.
Audemar, présenté par MM. Hallopeau, Marle et Tardieu.
Crocè Spinelli, présenté par MM. Callon, E. Flachat et Thomas.
Gigot, présenté par MM. Arson, J. Morandière et Servier.
Gressier, présenté par MM. Dujour, Hallopeau et Tardieu.
Koch, présenté par MM. Dujour, Hallopeau et Tardieu.
Laurent, présenté par MM. Bobin, Love et Richard.
Lecoq, présenté par MM. Bobin, Love et Richard.
Ory, présenté par MM. Bobin, Fraix et Geay.
Robert, présenté par MM. Bobin, Love et Richard.
Sepres (de), présenté par MM. Cazes, Love et Litschfousse.
Sommer, présenté par MM. Desbrière, Guébhard et De Landsée.
Sonelet, présenté par MM. Callon, Mallet et Normand.
Vanderheym, présenté par MM. Gambaro, Guébhard et Vuillemin.

Au mois de février :

MM. Beauchamp, présenté par MM. Brüll, Matthiessen et Orsat.
Chardon, présenté par MM. Goschler, Grand et Loustau.

Au mois de mars :

MM. Chrétien, présenté par MM. Love, Richard et Riche.
Daburon, présenté par MM. Gaudry, Mesnard et Poupard.
Demimuid, présenté par MM. Alcan, E. Muller et Petiet.
Dru, présenté par MM. Ball, Dru et Ermel.
Grand fils, présenté par MM. Banderali, E. Flachat et J. Morandière.
Perrault, présenté par MM. Alcan, Le Cler et Poinsot.
Rigollot, présenté par MM. Alcan, Lecœuvre et H. Tresca.
Voyaeck, présenté par MM. Bontemps, De Fonbonne et J. Morandière.

Comme Membre-Associé :

M. Ménier, présenté par MM. Callon, Péligot et H. Tresca.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

1869

Membres du Bureau.

Président :

M. ALCAN (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.

Vice-Présidents :

MM. VUILLEMIN (Louis), ✱ O. ✱, rue Réaumur, 43.
YVON-VILLARCEAU ✱ ✱, rue Cassini, 14.
MAYER (Ernest) ✱, rue d'Amsterdam, 39.
NORDLING ✱, boulevard Malesherbes, 87.

Secrétaires :

MM. TRONQUOY (Camille), faubourg Saint-Denis, 43.
MORANDIÈRE (Jules), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
TRESCA (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
REGNARD (Paul), rue Charlot, 15.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.) ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. PETIET (J.) O. ✱ C. ✠ O. ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
LOVE ✱, rue Taitbout, 57.
BENOIT DUPORTAIL (Armand-Camille), rue Bénard, 41, à Batignolles.
FARCOT (Joseph) ✱, au port Saint-Ouen.
THOMAS (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
SALVETAT ✱ ✱, à Sèvres (Manufacture impériale).
CHOBRZYNSKI ✱ ✠, boulevard Magenta, 139.
MULLER (Émile) ✱, rue des Martyrs, 19.
TRESCA O. ✱ ✠ ✱ ✱, rue Saint-Martin, 292.
LAURENT (Charles) ✱, rue de Chabrol, 35.
RICHARD ✱, rue Billault, 41.
DESGRANGE, ✱ C. ✠ ✱ ✱, boulevard Haussmann, 135.

MM. Forquenot ✱, rue du Louvre, 6.
Brull, rue de La Rochefoucauld, 58.
Guébhard (Alfred) O. ✱ ✠ ✱, rue Lafayette, 87.
Goschler, boulevard Saint-Michel, 35.
Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.
Huet, rue de Douai, 35.
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Callon (Ch.), ✱, rue de Birague, 16.

Présidents honoraires.

MM. Flachat (Eugène) O. ✱ ✱, rue Saint-Lazare, 99.
Morin (le général), G. C. ✱ ✱ ✱ ✱, directeur du Conservatoire Impérial des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.

Membres honoraires.

MM. Bélanger, O. ✱, rue d'Orléans, 15, à Neuilly.
Dumas, G. C. ✱, rue Saint-Dominique, 69.
Lavallée, O. ✱, rue de Penthièvre, 6.

Membres sociétaires.

MM. Aboilard (François-Auguste-Théodore), directeur de charbonnage, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard, rue de Provence, 60.
Agnès (Antony) ✱, rue Bréda, 4.
Agudio (Thomas) ✱, rue de Rivoli, 172.
Aivas (Michel), à Suez (Égypte).
Albaret ✱, constructeur, à Liancourt (Oise).
Albaret (Eugène), rue Legendre, 43 (Batignolles).
Alby (Joseph), à Turin (Piémont).
Alcan (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.
Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.
Ameline (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.
André (Gaspard-Louis), boulevard du Port-Royal, 83.
André (Charles-Henri), rue d'Allcanée, 10, à Nancy (Meurthe).
André (Oscar), rue de Flandre, 105.
Andry ✱, à Boussu, près Mons (Belgique).

MM. Ansart (Ernest), directeur des mines de Guzurra à Lula (Ile de Sardaigne).
Appert (Léon), rue de l'Ourcq, 59, à la Villette.
Arbulu (de) (José Maria), à Vergara (Espagne).
Arcangues (d') (Paul-Eugène) ✱, rue de Dunkerque, 18.
Arman (Lucien) ✱, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
Armand (Eugène), rue de la Varvarka, 11, à Moscou (Russie).
Armengaud aîné ✱, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud jeune ✱, boulevard de Strasbourg, 23.
Armengaud fils, jeune (Jules-Alexis), boulevard de Strasbourg, 23.
Armengaud fils, aîné (Charles-Eugène), rue Saint-Sébastien, 45.
Arnault (Marc-Emmanuel), à Saintes (Charente-Inférieure).
Arson (Alexandre) ✱, Cie du Gaz, rue Condorset, 40.
Artus (Jules), boulevard Beaumarchais, 20.
Asselin (Eugène), rue des Poissonniers, 3 (Saint-Denis).
Audemar (Henri), à Monceaux-les-Mines (Saône-et-Loire).
Avril de Gastel (Louis), à Kovroff (Russie).
Badois (Edmond), Galerie Malakoff, 15, à Alger (Afrique).
Baillet (Gustave), rue Saint-Ferdinand, 39, aux Ternes.
Balestrini, rue de Rivoli, 200.
Ball (Charles), Faubourg-Poissonnière, 126.
Banderali, O. ✱, rue de Navarin, 16.
Bandholtz (Frédéric), à Blaye (Gironde).
Bara, rue Simonnot, 1, aux Prés-Saint-Gervais.
Barbaroux (Marie-Ferdinand-Auguste), avenue de Madrid, 13, à Neuilly.
Barbe (Paul), faubourg Saint-Jean, 7, à Nancy (Meurthe).
Barberot (Félix) ✱ C. ✱, Grande-Rue, 21, à Batignolles.
Barnes (Edmond), à Saint-Michel (Savoie).
Barnoya (Luis), calle Alfaresos, 7, à Valladolid (Espagne).
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 17.
Barres-Barretto (de) (Manuel), à Pernambuco (Brésil).
Barroux (Léon), à Charleville (Ardennes).
Barthélemy (Henry), quai Voltaire, 3.
Battaille Straatman (Jean), rue des Croisades, 7, à Bruxelles (Belgique).
Battarel (Pierre-Ernest), rue Cambrai, 3, à la Villette.
Baudet (Louis-Constant-Émile), rue du Rocher, 64.
Baudouin ✱, avenue de Neuilly, 115.
Baumal (Henri), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Bazerque (Pierre), faubourg Poissonnière, 46.
Beaucerf ✱, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Beauchamp (Émile-Laurent-Marie), boulevard du Prince-Eugène, 30.

MM. Beaupré (Eugène), à Pont-Rémy (Somme).
Beaussobre (de) (Georges-Emmanuel), à Strasbourg (Bas-Rhin).
Behrens (Ernest-Auguste), rue Vavin, 35.
Bélanger (Charles-Eugène), Fuencarral, 2, à Madrid (Espagne).
Belleville (Julien-François) ✠, avenue Trudaine, 6.
Bellier (Adolphe), au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire (Alfred), ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Benoit Duportail (Armand-Camille), rue Bénard, 41, à Batignolles.
Benoist d'Azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Berger (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Haut-Rhin).
Bergeron, rue du Grand-Chêne, 8, à Lausanne (Suisse).
Bernard, ingénieur de la voie du chemin de fer du Nord, à Namur (Belgique).
Bertheault (William), directeur des forges de Montataire (Oise).
Bertholomey (Eugène), à Chantenay-sur-Loire, près Nantes (Loire-Inférieure).
Berthot (Pierre), à la papeterie du Marais, par la Ferté-Gaucher (Seine-et-Marne).
Berton (Théodore), rue Mademoiselle, 16, à Versailles (S.-et-O.).
Bertrand (Charles-Pierre), boulevard Beaumarchais, 69.
Béthouart (Alfred-Auguste), à Chartres (Eure-et-Loire).
Beugniot ✠ ✠, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massy (Henri), C. ✠ C. ✠, rue de Berlin, 8.
Bianchi, ✠ ✠, rue de Rennes, 154.
Binder (Charles-Jules), boulevard Haussmann, 170.
Bippert, rue des Petites-Écuries, 42.
Birlé (Albert), place Bedoni, 12, à Turin (Italie).
Biver (Hector) ✠, rue du Cherche-Midi, 21.
Bixio (Maurice), rue Jacob, 26.
Blaise (Jean-Louis-Emile), rue de Londres, 13.
Blake (David), à Dieppe (Seine-Inférieure).
Blanc-Garin, poste restante, à Thones (Haute-Savoie).
Blanche (Auguste), quai Impérial, 3, à Puteaux.
Blanco (Juan-Maria), à Sanlucar de Banameda (Espagne).
Blanleuil, à Mennecy, près Corbeil (Seine-et-Oise).
Blard (Alexandre-Louis), rue de Rivoli, 226.
Bleynie (Martin), rue de Lyon, 35.
Blonay (de) (Henri), administrateur et gérant des ateliers de construction à Reichshoffen (Bas-Rhin).
Blondeau (Paul-François), à l'Ardoisière Saint-Gilbert, à Fumay (Ardennes).
Blot (Léon), rue d'Amsterdam, 54.
Blutel, à Troyes (Aube).

MM. Bobin (Hippolyte), boulevard du Port-Royal, 83.
Boire (Émile), quai de la Haute-Deule, à Lille (Nord).
Bois (Victor) ✻, boulevard Malesherbes, 69.
Boitard (Charles-Alfred), rue Malatiré, 7, à Rouen (S.-Infér.).
Boivin (Émile), rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bonnaterre (Joseph), rue Gaillon, 11.
Bonnet (Victor), à Beaumont-sur-Oise (Seine-et-Oise).
Bonnet (Désiré), à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Auguste-Félix), rue Servandoni, 23.
Bontemps (Georges), boulevard Denain, 7.
Borel (Paul) ✻ C. ✠, rue Taitbout, 82.
Borgella (Édouard), route Impériale, 44, à Montretout, près Saint-Cloud (Seine-et-Oise).
Bossi (de) (Édouard), à Riom (Puy-de-Dôme).
Bossu, rue Mazagran, 9, à Nancy (Meurthe).
Boucard (Alexandre-André), rue de la Paix, 3.
Bouchotte (Émile-Simon), à Metz (Moselle).
Boudard (Casimir), à Dangu, par Gisors (Eure).
Boudard (Félix-Arthur), rue de la Vallée, 35, à Amiens (Somme).
Boudent (Ernest-Gabriel), rue Saint-Sauveur, 18.
Bougère (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet (Henri-Charles) ✻, rue de Bondy, 56.
Bouissou (Amable-Louis), rue Montrosier, 18, à Neuilly.
Boulet (Jean-Baptiste), faubourg Poissonnière, 144.
Boulogne (Jules-Ernest), quai de Seine, à Saint-Denis.
Bouquet (Ferdinand), rue Dieudé, 35, à Marseille (Bouches-du-R).
Bouquié, rue Saint-Georges, 43.
Bourcard (Henri), à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon (Eugène) ✻, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgeat (Alphonse), à Rochefort-sur-Mer (Charente-Inférieure).
Bourgougnon (Etienne), rue de la Victoire, 43.
Bourgougnon (René), rue Lemercier, 44 (Batignolles).
Bourset, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Boutmy, rue Rambouillet, 2.
Boutté (Louis), rue Sainte-Placide, 49.
Bracquemont (de) (Adrien), boulevard Malesherbes, 19.
Branville (de) (Paul), rue Sainte-Placide, 43.
Brauer (François-Charles), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Brault (Alexandre) ✻, à Chartres (Eure-et-Loire).
Bréguet ✻, quai de l'Horloge, 39.
Brialmont, aux établ[ts] de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Bricogne (Charles) ✻, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel (Gustave), directeur de la correction des eaux, à Bienne (Suisse).

MM. Brissaud ✱, rue de Rennes, 147.
Brocchi (Astère), rue de Lyon, 49.
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.
Brodard (Marie-Anatole-Octave), rue du Bac, 94.
Bronne (Joseph), quai de Fragnée, 392, à Liége (Belgique).
Bronne (Louis), rue Grétry, 28, à Liége (Belgique).
Brouilhet (Émile), directeur de la compagnie Chaufournière de l'Ouest à Saint-Lô (Manche).
Bruère, à Signy-le-Petit (Ardennes).
Bruignac (Duroy de) (Albert), rue Taitbout, 55.
Brüll, rue de La Rochefoucauld, 58.
Brunet (de), à Saint-Sébastien-Guipuzcoa (Espagne).
Brunier ✱, rue Neuve-Saint-Patrice, 6, à Rouen (Seine-Inférieure).
Brunt (John), rue Petrelle, 15.
Brustlein (H.-Aimé), à Almunecar, province de Malaga (Espagne).
Buddicom ✱, rue de Lille, 97.
Bulot (Hippolyte), aux fonderies de Graville (Havre).
Bunel (Henri), rue du Conservatoire, 13.
Bureau, place de l'Église, 15 (Batignolles).
Burel (Eugène), avenue de la Grande-Armée, 73.
Busschop (Émile), boulevard du Prince-Eugène, 100.
Bussière (de), aux aciéries Barroin et C^ie^, à Saint-Étienne (Loire).
Cabanes (Felix), à Saint-Ouen (Seine).
Cabany (Armand), à Gand (Belgique).
Cail (Émile), avenue de l'Empereur, 121.
Caillé (Jules-Charles), rue Guy-de-la-Brosse, 11.
Caillet ✱, avenue d'Antin, 7.
Caillot-Pinart, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Caisso (Marin), aux ateliers du chemin de fer de l'Ouest, à Rennes (Ille-et-Vilaine).
Caladre (Sébastien), rue Affre, 2, à la Chapelle.
Calla ✱, rue des Marronniers, 8, à Passy.
Calleja (Joseph-Antoine), à Ciudad-Réal, province de Badajoz (Espagne).
Callon (Charles) ✱, rue de Birague, 16.
Calrow, rue Saint-Maur, 73.
Capdevielle, rue des Vertus, 70, à la Villette.
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Carcenat (Antoine), à la gare du chemin de fer du Nord, Paris.
Carcuac (Armand-Jean-Antoine), rue Neuve-des-Martyrs, 14.
Carénou (Édouard), rue des Beaux-Arts, 5.
Carimantrand (Jules), rue Germain-Pilon, 7.
Carpentier (Léon), rue de Fleurus, 37.
Carpi (Léonard-Emmanuel), via Goito, 10, à Gènes (Italie).

MM. Cartier (Émile), avenue de Seine, à Rouen (Seine-Inférieure).
Cassas (Louis-Charles), boulevard de Courcelles, 79.
Castel (Émile) ✱ O. ✠, place Roubaix, 24.
Castor ✱, à Mantes (Seine-et-Oise).
Cauvet (Jacques-Aubin), rue Neuve-des-Mathurins, 73.
Cavé (François) ✱, place Lafayette, 114.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazalis de Fondouce (Paul), à Montpellier (Hérault).
Cazaux, à Suez (Egypte).
Cazes (Edwards-Adrien), à Madrid (Espagne).
Cernuschi, boulevard Malesherbes, 10.
Chabrier (Ernest) ✱, rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Chalain (Prosper-Edmond), rue d'Argenteuil, 36.
Chaligny (Gabriel-Joseph), rue Philippe de Girard, 54.
Championnière, à Monlignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
Champouillon, rue de Provence, 60.
Chancerel (Charles-Antoine), rue de la Fidélité, 16.
Chapelle ✱, boulevard Beaumarchais, 90.
Chaper ✱, rue de Provence, 46.
Charbonnier (Amédée-Pierre), rue de Provence, 56.
Chardon (Eugène-Frédéric), rue des Petits-Hôtels, 34.
Charbaudeau (Jules), rue de l'Arcade, 18.
Charpentier (Joseph-Ferdinand), rue de Turenne, 80.
Charpentier (Paul-Ferdinand), aux forges de Montataire (Oise).
Charton (Jules-Jean), rue Saint-Martin, 31, à Versailles (S.-et-O.).
Chauveau des Roches (Arthur), rue de Tournon, 16.
Chauvel (Émile), à Navarre, par Évreux (Eure).
Chavès (Léopold), inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
Chéron (Charles-Louis), boulevard de Courcelles, 104.
Chéronnet (Victor), boulevard Haussmann, 57.
Chevandier de Valdrome (Eug.-Jean) O. ✱, rue de la Victoire, 22.
Chobrzynski (Jean-Pierre-Charles) ✱ ✠, boulevard Magenta, 139.
Cholet (Lucien-Alfred), à Lassay (Mayenne).
Chollet (Louis), à Belfort (Haut-Rhin).
Chopin (Nicolas-Philippe), à Pons (Charente-Inférieure).
Chrétien (Alfred), rue Perdonnet, 3.
Chuwab (Charles), à Décazeville (Aveyron).
Cialdi (Alexandre), ✱ ✠, Via dell Anima, 45, à Rome (Italie).
Ckiandi (Alexandre-Henri), cours Bonaparte, 80, Marseille (Bouches-du-Rhône).
Claparède (Frédéric-Moyse) ✱, à Saint-Denis (Seine).
Claro (Paul-Victor), rue des Vosges, 8.
Clémandot (Louis) ✱, 18, rue Brochant (Batignolles).

MM. Clément-Desormes, quai Castellane, 20, à Lyon (Rhône).
Clervaux (de) (Paul), directeur des usines de Torteron (Cher).
Coignet (François), rue Miroménil, 98.
Coindet (Eugène), boulevard d'Elbeuf, 50, à Rouen (Seine-Infér.).
Colburn (Zerah), 7, Gloucester Road Regents Park London (Angleterre).
Colladon, à Genève (Suisse).
Collet (Charles-Henri), place Vendôme, 8.
Comte (Charles-Adolphe), à Navarreins, arrond. d'Orthez (Basses-Pyrénées).
Conrard, Grande-Rue, 16, à Foug-lès-Toul (Meurthe).
Consolat, boulevard Malesherbes, 68.
Contamin (Victor), rue Saint-Antoine, 214.
Coquerel (Paul), boulevard des Batignolles, 22.
Cordier (Jean-Antoine), rue cardinal Fesch, 17.
Cornaille (Alfred), à Cambrai (Nord).
Corpet (Lucien), rue Hauteville, 68.
Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).
Cottrau (Alfred-Henri-Joseph) ✱, chef de bureau aux chemins de fer méridionaux italiens, 40, Corso Tintori, à Florence (Italie).
Couard (Joseph-Félix), rue de Lyon, 20.
Cournerie (Amédée-Barthélemy), à Cherbourg (Manche).
Cournerie (Jean-Baptiste-Eugène-Georges), à Cherbourg (Manche).
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 58.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtin (Amédée-Augustin), aux ateliers du chemin de fer du Nord, à la Chapelle.
Courtines (Jacques) ✱, à Rueil (Seine-et-Oise).
Coutanceau (Alphonse), rue Judaïque, 66, à Bordeaux (Gironde).
Couture (Jules), rue de la Darse, 9, à Marseille, (B. du R.).
Crépin (Christian), à la sucrerie de Lonez, près Arras (P. de C.).
Crespin (Auguste), boulevard de Clichy, 14.
Crespin (Arthur-Auguste), avenue Parmentier, 7.
Crétin ✱, rue de Berri, 17.
Crocè Spinelli (Joseph-Eustache), rue de Rome, 46.
Cuinat (Charles), rue Bellefond, 4.
Daburon (Henri-Charles), rue du Théâtre, 34, à Grenelle.
Dagail (Louis), à Angoulême (Charente).
Daguerre d'Ospital (Léon), calle de Prado, 20, à Madrid (Espagne).
Daguin (Ernest) ✱, rue Geoffroy-Marie, 5.
Dailly (Gaspard-Adolphe) O. ✱, rue Pigalle, 69.
Dallot (Auguste), rue Béranger, 17.
Dambricourt (Auguste), à Vezernes par Saint-Omer (Pas-de-Calais).

MM. Daney (François), place Sainte-Croix, à Bordeaux (Gironde).
Danjou Lazare), boulevard de Clichy, 136.
Darblay (Paul) ✱, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Daret-Derville, à Séville (Espagne).
Daveluy (Marie-Alfred-Alphonse), rue d'Hauteville, 33.
David (Augustin), boulevard Magenta, 14.
David (Henri), rue Doudeauville, 14, à la Chapelle.
Debarle (Louis), rue de l'Ourcq, 33, à La Villette.
Debauge (Jean-Louis) ✱, rue de Tournon, 8.
Debonnefoy de Montbazin, rue de Madame, 6.
Decaux (Charles-Auguste) ✱, rue Notre-Dame-des-Champs, 107.
De Coene (Jules), à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse (Charles), rue Blanche, 63.
De Dion (Henri) ✱, rue de la Victoire, 70 *bis*.
Deffosse (Étienne-Alphonse), au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, au Puy (Haute-Loire).
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
D'Eichthal (Georges), rue Esprit des Lois, 18, à Bordeaux (Gironde).
Delannay ✱, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delannoy (François-Albert), ✱ C ✱, boulevard Saint-Jacques, 71.
Delaporte (Louis-Achile), rue de Turenne, 43.
Delattre, boulevard du Prince-Eugène, 63.
Delaunay (Jules-Henri) ✱, à Saint-Savin de Blaye (Gironde).
Delaunay (Louis-Marie-Gabriel), rue du Port, 9, à Saint-Denis (Seine).
Delebecque, rue de Chabrol, 34.
Deligny (Ernest) O ✱, rue Jean Goujon, 16.
Delom (Florentin), ingénieur du matériel du réseau central de la Compagnie d'Orléans, boulevard Beaumarchais, 73.
Delonchant, rue Saint-Pierre, 3, à Sèvres (Seine-et-Oise).
Delpech (Ferdinand), Chaussée d'Antin, 45.
Delsa (Hubert), à Pietrasa, près Naples (Italie).
Demanest (Edmond), rue Crétet, 6.
Demeule (Gustave), à Elbeuf, rue de la Bague, 1 (Seine-Inférieure).
Demimuid (Réné), rue Sainte-Placide, 45.
Denfer (Jules), directeur de la papeterie d'Essones (Seine-et-Oise).
Deniel ✱, à Troyes (Aube).
Denise (Lucien), passage Violet, 12.
Depérais (Ch.), Viro St-Peresella de Spagnoli, 33, à Naples (Italie).
Deprez (Marcel), rue de Rennes, 132.
Derennes (Jean-Baptiste-Ernest), avenue Parmentier, 10.
Deroide (Auguste), cité Gaillard, 5.
Desbrière ✱, rue de Provence, 56.
Desforges (Louis-Alphonse), au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).

MM. DESGOFFE (Auguste-Jules) boulevard de Vaugirard, 6.
DESGRANGE, ✠ C ✠ ✠ ✠, boulevard Haussmann, 135.
DESMASURES (Camille) O ✠, boulevard Haussmann, 64.
DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ (Émilien), rue de Lille, 79.
DESNOS (Charles), boulevard Saint-Martin, 13.
DESPRÉS (Gustave) ✠, à Borgone Susa (Italie).
DESPRET (Édouard), rue de Stassart, 69, à Bruxelles (Belgique).
DEVAUREIX (Jules), rue de la Cerisaie, 13.
DEVILLE (Anatole), rue de Lyon, 39.
DEZ (Jules), à Rochefort-sur-mer (Charente-Inférieure).
DÉZELU (Jacques-Isidore), rue Saussure, 116, aux Batignolles.
D'HAMELINCOURT (Éloi-Joseph), rue Saleneuve, 29 (Batignolles).
DIARD (Henri-Pierre-Alfred), à Amboise (Indre-et-Loire).
DIDIERJEAN (Eugène) ✠, à Saint-Louis (Moselle).
DIEUDONNÉ (Camille-Henri-Marie) ✠ ✠, boulevard du Prince-Eugène, 78.
DOMBROWSKI (Thomas-Adolphe), à Metz (Moselle).
DONNAY (Charles), rue des Trois-Couronnes, 48.
DONZELLE (Joseph-Arthur), Foolseah factory near Bhugulssore, à Calcutta (Indes-Orientales).
DORRÉ, à la gare du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
DOULIOT (Paul-Charles), rue des Usines, 2, à Grenelle.
DRU (Saint-Just) (Antoine), rue Rochechouart, 69.
DRU (Léon-Victor-Edmond), rue Rochechouard, 69.
DUBIED (Henri-Édouard), à Couvet, par Pontarlier (Suisse).
DUBOIS (Eugène-Auguste), rue de l'Annonciade, 30, à Lyon (Rhône).
DUBUC (Michel-Maximilien), boulevard Magenta, 52.
DUFOURNEL (Alphonse-Théodore), à Gray (Haute-Saône).
DUFRENÉ (Hector-Auguste), rue de la Fidélité, 10.
DUGOURD, à Alais (Gard).
DUJOUR (Nicolas-Alexis), rue de Berlin, 4.
DUMÉRY, rue de Monceau, 11.
DUMONT (Henri), à Jaguara, province de Minas Péraes (Brésil).
DU PAN (Louis), à Soissons (Aisne).
DUPARC (Georges), rue Martel, 3.
DUPONT (Charles), boulevard Saint-Michel, 106.
DU PRÉ O ✠, rue Montaigne, 5.
DUPUY (Léopold-Philibert), rue de Flandre, 108, à la Vilette.
DURENNE ✠, à Courbevoie.
DURENNE (Antoine) ✠, rue de la Verrerie, 30.
DUROCHER (Constant), à Coulommiers (Seine-et-Marne).
DURVAL (Maurice-Charles), à Monte Rotondo, près Massa Maritima (Italie).

MM. Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).
Duval (Raoul), rue François Ier, 45.
Eiffel (Gustave), rue Fouquet, 48, à Levallois (Seine).
Elwell père, rue Tronchet, 5.
Elwell (Thomas), rue Moncey, 9.
Engelmann, en Russie.
Epstein (Jules-Eugène), avenue Montaigne, 51.
Ermel (Frédéric) ✱, rue de Valenciennes, 10.
Étienne (Antoine), calle de las Palmas, 77, à Séville (Espagne).
Euverte (Jules), à Terre-Noire (Loire).
Évrard (Alfred), rue Corvetto, 2.
Evrard (Augustin), rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
Fabre (Émile-Jean-Jacques-Ernest), rue Blanche, 83.
Falguerolles (Eugène), à Séville (Espagne).
Faliès (Jacques-Alfred), rue aux Lièvres, au Mans (Sarthe).
Farcot (Joseph) ✱, au port Saint-Ouen (banlieue).
Farcot père ✱, au port Saint-Ouen (banlieue).
Farcot (Emmanuel), rue Soyer, 7, parc Neuilly (Seine).
Farcot (Abel), au port Saint-Ouen (banlieue).
Faure-Beaulieu, rue Meslay, 25.
Fayol (Henri), à Commentry (Allier).
Febvre (Armand), rue de Ponthieu, 23.
Fell (John-Barraclough), rue de Rivoli, hôtel Meurice.
Fellot (Jean), rue Legendre, 101 (Batignolles).
Fernex (de), rue Perdonnet, 9.
Fernique (Albert), rue Jules-César, 22.
Férot ✱, rue d'Aumale, 14.
Fèvre (Léon-Jean-Baptiste), rue de la Tour, 117, à Passy.
Fèvre (Henri), boulevard Malesherbes, 72.
Fiévet (Ernest-Emile), rue Sèvres, 155.
Flachat (E.) O. ✱ ✱, rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Flachat (Adolphe), rue Saint-Lazare, 62.
Flachat (Yvan), rue Lavoisier, 1.
Flachat (Jules), quai Maubec, 9, à la Rochelle (Charente-Inférieure).
Flaud ✱, avenue de Suffren, 40.
Flavien (Émile-Georges), rue du Bouloi, 26.
Foex (Etienne-Jean-Antoine), chemin des Chartreux, 77, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Fonbonne (de) (Charles-Alexandre), chaussée des Martyrs, 8.
Fontenay (de) (Anselme), rue Thénard, 9.
Fontenay (Tony), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
Fontenay (de) (Eugène) ✱, à Baccarat (Meurthe).
Forey (Miltiade), à Montluçon (Allier).

MM. Forquenot (Victor) ✱, rue du Louvre, 6.
Fortin-Herrmann (Louis), boulevard Montparnasse, 114.
Fortin-Herrmann (Emile), boulevard Montparnasse, 114.
Foucou, boulevard Saint-Michel, 73.
Foulon y Tudo (Joseph-John), Penn's Factory Greenwich.
Fouquet (Louis-Ernest), chez M. Gouin, avenue de Clichy.
Fournier (Victor) ✱, boulevard de l'Empereur, 178.
Fournier, rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Fournier (A.), boulevard du Chemin de fer, 36, à Orléans (Loiret).
Fraix (Félix), rue Taitbout, 57.
Fresnaye (Adrien-Aimé), à Marenla, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frichot, à Pont-Rémy (Somme).
Fromantin (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 24.
Fromont, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
Froyer, Grande-Rue, 21, à Batignolles.
Fuchet (Pierre-Paul), carrefour de l'Observatoire, 2.
Gaget, rue de Guttemberg, 23, à Boulogne-sur-Seine.
Gaildry (Cyprien), chaussée du Maine, 4.
Gallais (Adolphe-Pierre), rue Bichat, 3.
Gallaud (Charles), rue Neuve-Fontaine, 6.
Gallois (Charles), à Francières par Pont-Saint-Maxence (Oise).
Galy-Cazalat (Antoine), rue Compans, 15, à Belleville.
Gambaro, boulevard Denain, 7.
Gandillot (Jules), rue de Tivoli, 6.
Ganneron, (Edmond) O ✱, avenue de la Grande-Armée, 83.
Garcia (Manuel-Charles-Auguste), à Saintes (Charente-Inférieure).
Garnier (Jules-Jacques), boulevard Magenta, 35.
Gast (Édouard-Victor), à Issenheim (Haut-Rhin).
Gaudet O ✱, à Rive-de-Gier (Loire).
Gaudry (Jules), rue de Dunkerque, 24.
Gaudineau (Louis), rue Martel, 17.
Gaune (André-Joseph-Emile), à Saint-Louis-de-Morangan (Brésil).
Gaupillat (Ernest), au Bas-Meudon (Seine-et-Oise).
Gauthey (Émile-Mac-Marius), rue de Lisbonne, 15.
Gauthier (Paul-Émile), rue du Temple, 20.
Gaveau (Alfred-Frédéric), Marché aux Bestiaux, 9. à St-Omer (Pas-de-Calais).
Gayrard (Gustave) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 222.
Geay (Charles-Louis), à Cognac (Charente).
Génissieu, rue Chauchat, 13.
Gentilhomme ✱, quai de la Tournelle, 45.
Geoffroy (Octave), rue Marcadet, 8, à Montmartre.

MM. GERBER (Eugène), directeur de l'exploitation du chemin de fer de Kachau à Oderberg, Neumann Gasse, 7, à Vienne (Autriche).
GERMON (Alexis) C. ✱, ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).
GÉRUZET (Victor), rue des Dames, 25 (Batignolles).
GEYLER (Alfred-Édouard), rue de Douai, 35.
GIBON (Alexandre-Louis), à Commentry (Allier).
GIFFARD ✱, rue Marignan, 14.
GIGOT (Paul-Eugène), rue Baudin 2.
GIL (Claudio), à Barcelone (Espagne).
GIRARD, faubourg Poissonnière, 35.
GISLAIN, rue de Rome, 62.
GLASER (Frédéric-Charles), rue de Rendez-Vous, 2.
GODFERNAUX, place Pereire, 5.
GOLDSCHMIDT (Philippe), quai Jemmapes, 310.
GOLDSCHMIDT (DE) (Théodore), Elisabeth strasse, 3, à Vienne, (Autriche).
GOSCHLER (Charles), boulevard Saint-Michel, 35.
GOTTEREAU (Jean-Marie), ingénieur des mines à Belmez, province de Cordoue (Espagne).
GOTTSCHALK, ingénieur en chef, directeur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, Maximilien strasse, 5, à Vienne (Autriche).
GOUILLY (Henri-Louis-Auguste), rue Thévenot, 19.
GOUIN (Ernest) O ✱, rue de Cambacérès, 4.
GOUMET, rue du Temple, 118.
GOUPILLON (Arthur-Jules-Désiré), rue Boursault, 81, à Batignolles.
GOUTAUDIER (Joseph), au Breuil (Allier).
GOUVY (Alex.), aux forges de Hombourg, près St-Avold (Moselle).
GOUVY (Émile) à Goffontaine (Prusse Rhénane).
GRALL (Isidore), à Saint-Nazaire-sur-Loire (Loire-Inférieure).
GRAND (Albert), rue des Petits-Hôtels, 34.
GRAND fils (Jullien), à Oullins, près Lyon (Rhône).
GRATEAU (Michel-Edmond) ✱, rue du Dragon, 9.
GRÉGGORY (Georges-Aristide), à Maransin, par Guitres (Gironde).
GRENIER (Achille) ✱ ✱, C. ✱, Forest-City-Mecker Co Mennesito U S d'Amérique (États-Unis).
GRESSIER (Louis-Edmond), boulevard Magenta, 99.
GRIÈGES (DE) (Louis-Maurice), rue de Clichy, 43.
GUÉBHARD (Alfred) O. ✱ ✠ ✱, rue de Lafayette, 87.
GUÉBIN (Jules), Grande-Rue, 51, à Passy.
GUELLE (Denis-Eugène), rue de Bourbon, 47, à Toulon (Var).
GUÉNIVET (Ernest), chef de la verrerie de la Croix-Blanche, à Vierzon (Cher).

MM. Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
Guerbigny (Germeuil-Gaston), à Villiers-le-Bel (Seine-et-Oise).
Guérin de Litteau (Edgar) ✱, rue Blanche, 3.
Guettier, rue Oberkampf, 74.
Guibal (Théophile) ✱, à l'École des Mines de Mons (Belgique).
Guillaume (Charles) ✱, chemin de fer du Midi, à Castres (Tarn).
Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 58.
Guillemin (Étienne), à la Perraudette, près Lausanne (Suisse).
Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
Guillon (Nicolas) ✱, à Amiens (Somme).
Guillot (Gustave) ✱, rue Lamarre, 4, aux Ternes.
Guisand (Girardot-René), à Lausanne (Suisse).
Guiter (André-Jacques-Joseph), à Ismailia (Isthme de Suez).
Guntz (Charles), à Haguenau (Bas-Rhin).
Haas (Henri), rue de Provence, 65.
Halley, rue d'Havré, 49, à Mons (Belgique).
Hallié (François-Ernest), à Fermo (Italie).
Hallopeau (Paul-François-Alf.), rue Saint-Lazare, 102.
Hamers, boulevard Lefévre, 30 (15e arrondissement).
Hamoir ✱, à Maubeuge (Nord).
Hangard (Louis-Émile) ✱, rue Honoré-Chevalier, 5.
Harouard (Charles-Narcisse-Auguste), rue de La Verrière, 3, au Mans (Sarthe).
Henderson (David), ingénieur en chef de la Compagnie des phares, à Shang-Haï (Chine).
Henri-Lepaute, fils (Édouard-Léon), rue de Rivoli, 146.
Hermary (Hipp.-Albert-Jos.), à Moulle, par St-Omer (Pas-de-Cal.).
Herpin (Louis), rue Godot de Mauroy, 27.
Hervey-Picard (Paul-Philippe), rue de Rome, 62.
Hervier (Alfred-Charles), rue de la Fidélité, 10.
Heurtebise (Paul), chez M. Doré, maître de forges, rue Chappe, 4, au Mans (Sarthe).
Hinstin (Napoléon), rue Meslay, 40.
Hodgson (Jones), rue du Cardinal Fesch, 22.
Homburger (David), quai Jemmapes, 310.
Honoré (Frédéric), aux Forges-de-Siam, par Champagnole (Jura).
Houel ✱, avenue des Champs-Élysées, 75.
Houlbrat (Abel), rue du Havre, 12.
Hovine (Alfred), rue de Lyon, 61.
Huber (William) ✱, rue Miroménil, 76.
Hubert, rue Blanche, 69.
Huet (Alfred), rue de Douai, 35.
Huguet (Auguste-Adrien), à Barbezieux (Charente).
Humbloт (Nicolas-Léon), rue des Clercs, à Metz (Moselle).

MM. Hurcourt (d'), rue des Tournelles, 26.
Imber (Alexandre-François), avenue des Ternes, 91.
Imbs (Alexis-Joseph-Alb.), à Lutzelhausen, par Schirmeck (Vosges).
Jacques (Jean-Nicolas), boulevard du Prince-Eugène, 89.
Jacquin ✱, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
Jarry, au Gué de Velluire, par Vix (Vendée).
Javal (Ernest), place Wagram, 2.
Jeanson (Charles-Marie-Auguste), rue Sainte-Placide, 33.
Jequier (Henri-Jean), à Santiago (Chili).
Jolly (César) ✱, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Joly (de) (Théodore), rue de Grenelle-Saint-Germain, 121 bis.
Jonte (Émile-Frédéric), rue des Usines, 5 (Grenelle).
Jordan (Samson), rue de Bruxelles, 15.
Jouanne (Gustave), rue de Sèvres, 74.
Jouannin (Achille), villa Montmorency, à Auteuil.
Jousselin (Paul) ✱, quai Lepelletier, 8.
Joyant (Charles-Paul-Abel), O. ✱ à Mulhouse (Haut-Rhin).
Juanmartinena (de) (José), à Renteria, prov. de Guipuzcoa (Espag.).
Jubecourt (de) (Barthélemy), à Vaudrevanges, près Sarrelouis (Prusse Rhénane).
Jullien (Charles-Édouard), rue des Tournelles, 47.
Jullin (Aimé), à la mairie de Toulon (Var).
Juncker (Paul), rue de Maubeuge, 59.
Jury (Joseph), à Pons (Charente-Inférieure).
Juteau (Emile-Désiré), en Russie.
Karcher (Édouard), à Sarrebruck (Prusse Rhénane).
Koch (Louis-Jean-Baptiste-Adolphe), rue de Rambuteau, 23.
Kohn (Ferdinand), Robert street Adelphi, 6, à Londres (Angleterre).
Komarnicki (Sigismond), rue des Coutures Saint-Gervais, 1.
Kreglinger, boul. du Jardin-Botanique, 53, à Bruxelles (Belgique).
Krémer (Philippe), à Rosbruck, près Forbach (Moselle).
Krupp (Alfred), à Essen (Prusse).
Laborie (de) (Alexandre), boulevard de Sébastopol, 27.
Laboulaye ✱, rue de Madame, 40.
Labouverie (Prosper), à Bouillon, prov. de Luxembourg (G.-Duché).
Lacombe ✱, rue Condorcet, 60.
Lacretelle (Claude-Étienne) rue des Acacias, 37, aux Ternes.
Lacroze, au Brésil.
Lafon (Adrien), à Mazamet (Tarn).
Lahure (Paul-Camille), hauts-fourneaux de Moncheau-sur-Sambre, à Marchienne-au-Pont (Belgique).
Lainé, rue du Faubourg-du-Temple, 59.
Laligant (Paul), à Maresquel, par Campagne-les-Hesdin (Pas-de-C.).
Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.

MM. Lambert (Ernest), à Vuillafonds, par Ornans (Doubs).
Laming (Joseph-Mowbray), rue de l'Odéon, 20.
Lancel (Augustin-Jules), ingénieur de la voie, à Tergnier (Aisne).
Landsée (de) (Adolphe), rue de Ponthieu, 61.
Langlois (Auguste), rue de Clichy, 23.
Langlois (Charles), rue Joubert, 10.
Langlois (Ernest-Hippolyte), à Fermo (Italie).
Lantrac (Eug.-Adolphe), rue des Saussaies, 1.
Larochette (de) (Jérôme) ✱, quai de la Charité, 27, à Lyon (Rhône).
Larpent, boulevard des Invalides, 18.
Lartigue (Pierre-Gust.), Plaza de la Puerta Réal, 8, à Séville (Esp.).
Lartigue (Henri), Grande-Rue, 66, à Passy.
La Salle (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron (Charles), rue Saint-Lazare, 18.
Lasvignes (Louis), à Aix-en-Provence.
Laurens (Camille) ✱, rue Saint-Honoré, 350.
Laurens (Marie), Allée Saint-Étienne, 38, à Toulouse (Haute-Garonne).
Laurent (Lambert), gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles) ✱, rue de Chabrol, 35.
Laurent (Pol-Charles), rue des Bouchers, 11, à Passy.
Laurenzano (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59 (Naples).
Lavalley O. ✱ C. ✠, avenue de l'Impératrice, 49.
Laveissière (Émile-Jean), rue de la Verrerie, 58.
Lebargy, ingénieur de la voie, à Amiens (Somme).
Leblond (Paul-Henri), avenue Trudaine, 17.
Lebon (Eugène), rue Drouot, 11.
Le Brun (Louis-Gabriel), rue de Belzunce, 10.
Le Brun (Raym.-Louis) ✱, Prado Cuidad-Réal (Espagne).
Lecherf, à Violaisnes (Pas-de-Calais).
Léclanché (Georges), rue Pigalle, 59 *bis*.
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Leclerc (Émile), rue Lemercier, 32 (Batignolles).
Lecœuvre (Paul), rue Turenne, 111.
Lecoq (Jean-Félix-Édouard), Faubourg Saint-Martin, 66.
Lecorbellier (George-G.), rue de Londres, 51.
Le Cordier (Léon), rue Pergolèse, 37.
Lefèvre (Léon-Marie), place Saint-Pierre, 2 et 4, à Dijon (Côte-d'Or).
Lefèvre (Prosper), rue Lemercier, 31 (Batignolles).
Lefèvre (Edmond-Ferdinand) ✱, boulevard Magenta, 42.
Lefèvre (Eugène-Hippolyte), à Avesnes-sur-Helpe (Nord).
Lefrançois, rue Rocroy, 23.

MM. Legat (Mathurin-Désiré), rue de Châlons, 22.
Legavriand (Paul-Floride), à Lille (Nord).
Lehaitre (Paul-Léon), rue de Lille, 37.
Lejeune (Charles-Émile) ✱, chef de l'exploitation du chemin de de fer des Charentes, à Saintes (Charente-Inférieure).
Le Laurin (Jules), rue de Rivoli, 50.
Leloup (Joseph-Benoît), fabricant de sucres, à Arras (Pas-de-Calais).
Leloup (Félix), aux mines de l'Autunois, à Autun (Saône-et-Loire).
Leloup (Louis-Joseph-Clément), rue Brochant, 18.
Lemaire (Alexandre-Auguste), à Aix-les-Bains (Savoie).
Lemoinne (Lucien) ✱, rue Desbordes-Valmore, 18, à Passy.
Lemonnier (Paul), aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon (Ernest), à Arc-en-Barois (Haute-Marne).
Lencauchez, rue du Faubourg-Saint-Martin, 212.
Lepainteur (Constant), directeur de la Fonderie, à Évreux (Eure).
Lepeudry (Paul-Noël), rue Montholon, 28.
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy (Amable), place de la Gare, 27, à Nancy (Meurthe).
Le Roy Desclosages (Raoul-Charles), Grande-Rue, 104, à Champigny-sur-Marne (Seine).
Letellier, rue Saint-Vincent-de-Paul, 7.
Letestu, rue du Temple, 118.
Létrange (Léon), rue des Vieilles-Haudriettes, 1.
Levassor (Émile-Constant), Maison Durenne, à Courbevoie.
Levat (Gustave) ✱, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Level (Émile), rue Murillo, 4, parc Monceaux.
Lévi-Alvarès (Albert), O. ✱ C. ✱, au chemin de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante, à Madrid (Espagne).
Lévy (Jules), rue des Écluses-Saint-Martin, 23.
Leygue (Pierre-Aug.-Léon), boulevard Montparnasse, 92.
Lhomme (Paul-Émile), rue du Faubourg Saint-Martin, 140.
Limet (Hippolyte), à Cosne (Nièvre).
Limoge (de) (Louis-Auguste), rue Neuve de la Villardière, 30 (Guillotière), à Lyon (Rhône).
Lippmann (Edouard), rue de Chabrol, 51.
Lissignol (Antoine-Abraham-Emmanuel), rue de la Pépinière, 2.
Litschfousse (Léon), Calle de las Hiléras, 21, à Madrid (Espagne).
Lloyd, aux États-Unis.
Loiseau (Adolphe), rue de Sèvres, 108.
Loiseau (Désiré), rue Lafayette, 13.
Loisel O ✱ ✠, galerie du Roi, 15, à Bruxelles (Belgique).
Longpérier (Charles), rue Sabot, 6, à Meaux (Seine-et-Marne).
Longraire (Léopold-François), via Goito, 10, à Gènes (Italie).

MM. Lopez-Bustamante (Francisco), à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Love (Georges-Henri) ✻, rue Taitbout, 57.
Mac Alpine, 16, Broadway New York.
Madelaine (Édouard), à Saintes (Charente-Inférieure).
Magny (Charles), à Luxeuil (Haute-Saône).
Maire (Armand), boulevard Malesherbes, 19.
Maldant, rue d'Armaillé, 27, aux Ternes.
Mallet (Anatole), rue Blanche, 80.
Malo Léon), aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
Manby (Charles), ✻ ✻ ✻, 79, Harley street, Londres (Angleterre).
Mangeon (Ernest), à Melun (Seine-et-Marne).
Marçais, boulevard de la Madeleine, 17.
Marché (Eugène-Ernest, rue de l'École-de-Médecine, 11.
Marcilly (de), architecte, rue Nollet, 12 (Batignolles).
Marco Martinez (Agapito) ✻, calle de la Estacion, 3, à Bilbao (Esp.).
Maréchal (Alfred), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Marès (Henri-Pierre-Louis), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié (Ernest) ✻, rue de Seine, 6.
Marin (Paul), à Bühl, près Guebwiller (Haut-Rhin).
Marindaz (Jules-Charles), rue Saint-Lazare, 96.
Marion (Jacques-Louis), en Russie.
Mariotte (Charles), quai de la Râpée, 36.
Marland (Joseph), dir. des ateliers de M. Jo ret, à Bessèges (Gard)
Marle (Paul), aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).
Marlier (Paul-Théodore-Eug.), place de l'Hôtel-de-Ville, à Tours (Indre-et-Loire).
Marsillon (Jean), ingénieur principal, à Vesoul (Haute-Saône).
Martenot ✻, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (Charles), rue Nollet, 90 (Batignolles).
Martin (Louis) ✻, rue de Strasbonrg, 10.
Martin (Charles-William), avenue de la Reine-Hortense, 13.
Martin (Léon-Adolphe), rue d'Assas, 5.
Masselin (Armand), boulevard Beaumarchais, 46.
Mastaing (de) (Louis), rue de Chaillot, 95.
Mathey (Félix), à Saint-Pétersbourg (Russie).
Mathias (Félix) ✻ O, ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Mathias (Ferdinand) ✻ ✻, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri) ✻, rue Casimir-Périer, 27.
Mathieu (Ferdinand) O. ✻, rue de Provence, 56.
Mathieu (Jules) ✻, rue de l'Entrepôt, 15.
Matthiessen (James Adolphe), boulevard Malesherbes, 73.
Mauget (Jean-Arist) ✻, Pallazzo Rossi al Largo Marcatello, à Naples.
Mauguin (Pierre-Étienne), rue Taitbout, 80.

MM. Maure (Edmond), rue de Penthièvre, 24.
Maury (Arthur-Nicolas), rue Guy de la Brosse, 7.
Mayer (Edmond-Louis), boulevard Beaumarchais, 82.
Mayer (Ernest) ✱, rue d'Amsterdam, 39.
Mazeline ✱, constructeur, au Havre (Seine-Inférieure).
Mégret, au château de la Meynardie, à Saint-Privat, par Saint-Aulaye (Dordogne).
Mélin (Jules-Léon), rue Louvois, 6.
Méliton (Martin), ingénieur en chef de la construction du chemin de fer du Nord-Ouest de l'Espagne, à Léon (Espagne).
Méraux (Gustave-Louis), rue de Chabrol, 36.
Mercier (Auguste), rue Pierre-Levée, 18.
Mesdach, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer ✱, à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Mesnard, rue de l'Université, 183.
Meyer (J.-J.), avenue de Matignon, 11.
Meyer (Adolphe), avenue de Matignon, 11.
Michaud (Edmond), boulevard Magenta, 48.
Michaud (Jules), rue de Douai, 7.
Michel (Alphonse), à Troyes (Aube).
Michel (Léopold), à Saintes (Charente-Inférieure).
Michelant ✱, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt), à Ivry.
Michelet (Émile), quai Valmy, 251.
Michelet (Gustave), rue des Deux-Églises, 32, à Bruxelles (Belgique).
Mignon, rue Oberkampf, 151.
Minary, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
Mirecki (Antoine-Salwomir), boulevard Magenta, 150.
Mitchell (William-Jean-Baptiste) ✱ ✱, au chemin de fer de Lyon, boulevard Mazas.
Moerath (Jean-Népomucène), Alser strasse, 25, à Vienne (Autriche).
Moisant (Armand), constructeur, rue d'Assas, 28.
Molléon (Léopold), rue Saint-André-des-Arts, 52.
Molinos (Léon-Isidore) ✱, rue du Cardinal Fesch, 2.
Moll (Henri), quai Bourgogne, 57, à Bordeaux (Gironde).
Mollard, rue de l'Écluse, 17.
Monard (Charles), rue Perdonnet, 12.
Monnier (Démétrius), rue de la Darse, 7, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Monnot (Paul-Charles), boulevard Impérial, 163, au Havre (Seine-Inférieure).
Montcarville (de) (Félix), quai de Béthune, 36.
Monthiers, rue Neuve-des-Petits-Champs, 62.
Montouan (André), rue du Chemin de fer, 35, à Vaugirard.
Mony (Stéphane) O. ✱, à Commentry (Allier).

MM. Morandière (Jules-Raoul), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
Morandière (Édouard-Alexis), à Niort (Deux-Sèvres).
Moreau (Albert), rue de Seine, 6.
Moreau (Émile), rue de la Tour, 16, à Bordeaux (Gironde).
Moreaux (Félix) ✱ ✱, rue de Ponthieu, 8.
Morice, ingénieur de la voie, à Hazebrouck (Nord).
Morin (le général) G. ✱ ✱ ✱ ✱, rue Saint-Martin, 292.
Mouchelet Bey, rue de Clichy, 60.
Mraile (Alexandre-Antonin), agent voyer à Jonzac (Charente-Infér.)
Muller (Adrien, rue Buffault, 23.
Muller (Émile) ✱, rue des Martyrs, 19.
Nancy (Alfred), ingénieur des docks, au Havre (Seine-Inférieure).
Nehse (Charles-Georges), en Russie.
Néri (Ferreira-Jean) ✱, à Rio-Janeiro (Brésil).
Nillis (Auguste), à Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or).
Nillus (Albert-Emmanuel), rue Notre-Dame-des-Victoires, 44.
Noisette, rue des Poissonniers, 50, à la Chapelle.
Nordling (Wilhelm) ✱, boulevard Malesherbes, 87.
Normand fils, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
Nougaret (Jean-Joseph), à Saintes (Charente-Inférieure).
Nouguier (Émile-Toussaint-Michel), rue Saint-Honoré, 171.
Nozo (Alfred) ✱ ✱, à Luxeuil (Haute-Saône).
Nye (Henri), rue Chappe, 7.
O'Brien (William), rue Charles-Laffitte, 19, à Neuilly (Seine).
Orsat (Louis-Hingest), rue de la Victoire, 29.
Orsatti (Camille), rue Neuve des Petits-Champs, 38.
Ory (Paul-Étienne), avenue de Sceaux, 22, à Versailles (S.-et-O.).
Ottavi (Antoine), à Ajaccio (Corse).
Oudot (Charles), chef de Section, rue des Fossés, 4, à Castres, (Tarn).
Oughterson (George-Blacke), fondeur à Rouen (Seine-Inférieure).
Paget (Frédéric-Arthur), Adam street, 18, Adelphi, W. C. (Londres).
Pajot (François-Théophile), rue Taitbout, 87.
Palotte (Émile) fils, rue de la Chaussée-d'Antin, 15.
Paquin ✱, au chem. de fer de Saragosse à Alicante, à Madrid (Esp.).
Parlier (Jean-Louis-Édouard), rue de Londres, 56.
Pascal, rue du Faubourg-Poissonnière, 167.
Pasquet-Chamier (George-Antoine), boulevard de Strasbourg, 48.
Paul (Antoine), rue de Clichy, 69.
Pedezert (Charles-Henri), à Saintes (Charente-Inférieure).
Pélegrin (Henri-Auguste), à Valréas (Vaucluse).
Pélegry (Maurice-François-Louis), rue Saint-Pantaléon, 5, à Toulouse (Haute-Garonne).
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Pellier (Pierre-Émile), rue Serpenoise, 10, à Metz (Moselle).

MM. Pépin-Lehalleur ✻ ✻, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
Pereire (Eugène) O. ✻ ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pereire (Émile) fils, boulevard Malesherbes, 86.
Pereire (Henri), rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pérignon (Eugène), faubourg Saint Honoré, 105.
Périssé (Jean-Sylvain), rue Blanche, 95.
Perrault (Auguste-Étienne) ✻, rue Lafayette, 41.
Perret (Louis), rue d'Hauteville, 67.
Perrot ✻, rue Saint-Dominique-Saint-Germain, 16.
Pesaro (Jules), à Charleroi (Belgique).
Petiet (Jules) O. ✻ C. ✠ O. ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Petin O. ✻, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit (Émile-Charles), rue des Minimes, à Roanne (Loire).
Petit (Georges-Charles-André), à Saint-Jean-d'Angely (Char.-Inf.).
Petitgand ✻, boulevard Malesherbes, 68.
Petitjean, rue de Bruxelles, 13.
Petre, rue de Bourgogne, 52.
Picard (Maurice-Félix-Antoine), rue de la Reine, 57, à Lyon (Rhône).
Picard, 36, Palazzo Ristori Lung Arno Nuovo, à Florence (Italie).
Pichault (Stephane), à l'établissement de John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Pierrard (Eugène), boulevard du Temple, 22, à Reims (Marne).
Pierre (Antoine), à Remiremont (Vosges).
Pierron ✻, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Piet (Jules), rue Chabrol, 47.
Pihet fils, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody (Arnault), entrepreneur des travaux publics, à Villeneuve-l'Archevêque (Yonne).
Pinat (Léon), aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet (Alphonse) ✠, 38, Cervantes, à Madrid (Espagne).
Place (de) (Henri), à Saint-Éloi, par Montaigut-les-Combrailles (Puy-de-Dôme).
Planat (Paul-Amédée), rue Saint-Louis, 59, à Grenelle.
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet (Henri), directeur des mines de Santo-Martinho, à Alcanises, province de Zamora (Espagne).
Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).
Poncelet (Antoine), O. ✻ ✻, à Bruxelles, (Belgique).
Poncin (Frédéric), rue Saint-Saturnin, 6, à Tours (Indre-et-Loire).
Pot (Charles), rue Dieudé, 18, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Francis), rue de Penthièvre, 6.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, Passy.
Pouchet (James), en Égypte.

MM. Pouell, ing. de la voie au chemin de fer du Nord, à Douai (Nord).
Poulain (Jules-Étienne), boulevard Beaumarchais, 14.
Poulot, avenue Trudaine, 9.
Poupard, rue de Longchamps, 40, à Chaillot.
Priestley (William-Charles), rue du Cherche-Midi, 36.
Prisse (Édouard-Louis) ✱, chem. de fer d'Anvers à Gand (Belgiq.).
Pronnier (Charles), quai Voltaire, 23.
Prou (Victor-Armand), place de la Bourse, 15.
Prouteaux (Réné-Albert), directeur de la papeterie de Thiers (Puy-de-Dôme).
Prudon (Jean-Marie), ingén. de la maison Joret à Montataire (Oise).
Pury (de) (Gustave) ✱, à Neuchâtel (Suisse).
Puylaroque (de) (Raymond), rue de Sèvres, 137.
Quarre d'Aligny (Henri-Ferdinand), boulevard de Neuilly, 142.
Quesnot (Louis-Auguste-Émile), boulevard Mazas, 18 ou 20.
Rainneville (de) (Xavier), boulevard Haussmann, 162.
Rancès (Frédéric), rue Sainte-Catherine, 137, à Bordeaux (Gironde).
Raspail (Émile-Jules), rue du Temple, 14.
Redon (Martial), allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), rue des Granges, à Besançon (Doubs).
Régel (de) (Philippe-Constant) ✱, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnard (Louis-Paul-Antoine), rue Charlot, 15.
Regnault (Jules) ✱, rue de Stockholm, 4.
Renard (Nicolas-François), rue du Bac, 122.
Renard (Lucien), rue de la Bienfaisance, 40.
Rey (Louis-Pierre-Félix) ✱, rue Guillaume, 8 (Ile Saint-Louis).
Reymond (Francisque), entrepreneur, place de la Mairie, à Montbrison (Loire).
Reynaud (Charles), à Cette (Hérault).
Reynaud (Georges), rue de la Paix, 4.
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Revin (Jules-Henri-Vict.), r. Cambraisienne, 92, à Avesnes (Nord).
Rhoné (Charles-Léopold) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Ribail (Xavier), rue du Chemin-de-Fer, 35, à Plaisance.
Richard (Jean-Louis) ✱, rue Billault, 41.
Riche (Armand), rue du Bac, 34.
Richemond (Émile-Louis), rue Mansart, 11.
Richemont (de) (Nicolas), à Gous, près Kocimoff, gouvernement de Riazan (Russie).
Richomme, rue Saint-Jean, à Pontoise (Oise).
Ridder (de) (Pierre-Octave), rue de Douai, 6.
Rigollot (Ernest), à la gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.
Robert (Gustave-Louis), à Montigny-lès-Metz (Moselle).
Robert (Jacques), rue du Cherche-Midi, 102.

MM. Rocaché (Louis-Jules), rue de la Roquette, passage Sainte-Marie, 12.
Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Rohart (François-Ferdinand), rue Nollet, 72, à Batignolles.
Rolin (François-Étienne), à Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales).
Romme (Alfred) ✱, à Saint-Quentin (Aisne).
Roques (Adrien-Jacques), à Saint-Affrique (Aveyron).
Roseau (Ubald-Ursmar), à Fives, près Lille (Nord).
Rosiés (Aristide), rue des Abeilles, 18, à Marseille (B.-du-R.).
Rouart, rue Oberkampf, 149.
Roussel (Simon), rue Turenne, 95.
Roussin (Étienne), rue des Fossés, 3, à Vitré (Ille-et-Vilaine).
Rouyer (Victor-Léandre), Cours impérial, à Saintes (Char.-Inf.).
Roy (Edmond), sous-directeur de l'Ecole des Arts-et-Métiers, à Lima (Pérou).
Roze (Eugène), fabricant de toiles cirées, rue du Château d'Eau, 78.
Rozycki (Stanislas), à Bességes (Gard).
Rubin (Arthur), rue de Navarin, 22.
Rueff (Léon), rue Bellefond, 31.
Ruhlmann (Albert-Martin), rue Montebello, 10, à Anvers (Belgique).
Ruolz (de) O. ✱ G. O. ✱ C. ✱, rue du Canivet, 3.
Saillard, constructeur, à Nantes (Loire-Inférieure).
Saint-James, Inspecteur de la voie au Nord, Faub.-Saint-Denis, 146.
Salesse (Paul-Alphonse), rue de Charenton, 153.
Salleron (Ernest), à Sens (Yonne).
Salvetat (Alphonse) ✱ ✱, à la Manufacture impériale de Sèvres (Seine-et-Oise).
Sambuc (Jules), rue du Tambour, 22, à Rheims (Marne).
Sandberg (Christer-Geter), consulat Suédois, à Londres.
Sautter (Louis) ✱, rue Jean-Goujon, 16.
Sauvan-Deleure (Louis), 84, rue de Paradis, à Liége (Belgique).
Scellier, fondeur à Voujaucourt (Doubs).
Schabaver, à Castres (Tarn).
Schaeck (Augustin-Clément), rue Lafayette, 103.
Scheidecker (Léon), à Schirmeck-la-Broque (Vosges).
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker (Michel-Adolphe), à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger (Henri) ✱, au château de Guebwiller (Haut-Rhin).
Schlumberger Hartmann, à Guebwiller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schmoll (Adolphe), Freudenau, 69, à Vienne (Autriche).
Schneider (Eugène) G. O. ✱ ✱, président du Corps législatif, rue Boudreau, 1.
Schwæblé (Paul-Joseph), rue Blanche, 4.
Sébillot (Amédée), en Chine.

MM. Seebold (Lothaire-François), rue de Provence, 65.
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Seillière (Edgard Aimé), boulevard Malesherbes, 59.
Sepres (de) (Henri-Robert-Yvon), 12, Calle Bordadores, à Madrid (Espagne).
Ser (Louis) ✱, rue de Rivoli, 82.
Sérafon ✱, rue Laval-Prolongée, 19.
Sergejeff (Nicolas), boulevard Malesherbes, 73.
Servier (Édouard), rue Lafayette, 89.
Siéber, rue Trézel, 1, à Batignolles.
Siemens, rue du Cardinal Fesch, 11.
Smith (Louis-Christian-Henri), rue Neuve-des-Mathurins, 55.
Simon (Edouard), rue de Clichy, 41.
Simon (Henri), 7, Saint-Peters square, à Manchester (Angleterre).
Simonin (Louis) ✱ ✱, rue Neuve-des-Mathurins, 103.
Simons (Paul), à Maubeuge (Nord).
Sommeiller (G.) 2, via S. Secundo, à Turin (Italie).
Sommer (Frédéric), à Saint-Pétersbourg (Russie).
Sonolet (Gustave-Auguste), rue de Marseille, 5.
Stilmant (Philippe-Louis-Aimé), rue de Rome, 113.
Stoclet (Victor), Chaussée Charleroi, 55, à Bruxelles (Belgique).
Stekkel (Charles), à Gannat (Allier).
Stummer (de) (Charles), Elisabeth-Strasse, 11, à Vienne (Autriche).
Sulberger-Ziegler, à Winterthur (Suisse).
Taillard (Ernest), à Bruxelles (Belgique).
Tardieu (Henri-Ernest), rue de Famars, 94, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue Monsieur-le-Prince, 49.
Tétard (François), rue Du Guay-Trouin, 17.
Thauvin (Pierre-Jules), à Pise-Fontaine près Triel (Seine-et-Oise).
Theurkauff (Achille-Henri), à Rachecourt, par Chévillon (Haute-Marne).
Thévenet (Jules), rue de Douai, 61.
Thibault (Louis-Marie), boulevard de Neuilly, 16.
Thirion (Charles), boulevard Beaumarchais, 95.
Thirion (Oswald), rue de la Pépinière, 18.
Thomas (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
Thomas (Jules-Émilien), rue de Cologne, 154, à Bruxelles (Belgique).
Thomas (Pierre), rue du Théâtre, 100 (Grenelle).
Thomas (Frédéric), à la gare de Toulouse (Haute-Garonne).
Thomas (Max), quai Voltaire, 25.
Thomas-Grellou (Léon), rue de la Ferme-des-Mathurins, 30.
Thomé de Gamond, rue de Tivoli, 27.
Thouin (Charles) ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Thoulet (Julien), rue de Laval, 24.

MM. Thouvenot, à Saint-Maurice, canton de Valais (Suisse).
Tiquet (Pierre-Maurice-Gustave), au Magny-Vernois, par Lure (Haute-Saône).
Tournadre de Noaillat (Lucien-Henri-Amable), rue Bergère, 27.
Tourneux (Félix), rue de la Michodière, 20.
Touron (Roch-Sylvain), rue de Dunkerque, 18.
Traz (de) (Édouard), rue d'Amsterdam, 71.
Trélat (Émile) ✱, rue d'Enfer, 19.
Tresca (Henri), O. ✱ ✱ ✱ ✱, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Trevellini (Louis), à Florence (Italie).
Tronchon (Jean-Anatole), rue de Metz, 8.
Tronquoy (Camille), rue du Faubourg-Saint-Denis, 43.
Turck (Michel), rue d'Amsterdam, 29.
Ulens (Léon), rue Godecharles, 20, à Ixelles lez-Bruxelles (Belgique).
Urbain (Victor), rue Nollet, 17, Batignolles.
Urban (Maurice-Pierre), rue des Sols, 23, à Bruxelles (Belgique).
Vaessen, directeur des ateliers de la Société Saint-Léonard, à Liége (Belgique).
Vaillant (Marie-Edouard), route de Paris, 27, à Vierzon (Cher).
Valentin (Léopold) ✱ ✱, place des Martyrs, 4, à Bruxelles (Belgique).
Vallance (Frédérich), Bridge street, Greenwich Kent, à Londres (Angleterre).
Vallez (Alphonse), rue des Anges, 10, à Valenciennes (Nord).
Vallier (Émile) ✱, rue Saint-Lazare, 142.
Vandel (Émile), aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vander Elst (Lucien), à Braine-le-Comte (Belgique).
Vanderheym (Eugène-Napoléon), rue Richer, 26.
Vauthier, rue Saint-Lazare, 11.
Vée (Léonce-Émile), boulevard Malesherbes, 72.
Vegni (Angelo), via Saint-Niciolo, 131, à Florence (Italie).
Verdié ✱, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire).
Veret (Jacques), à Nyon, canton de Vaud (Suisse).
Vergnes (Paul-Eugène), boulevard Sainte-Catherine, 28, à Limoges (Haute-Vienne).
Vérité (Augustin-Lucien), à Beauvais (Oise).
Verrine (Louis-Justin), rue Saint-Jean, 261, à Caen (Calvados).
Vescovali (Angelo), via Argentine, 34, à Rome.
Vidal (Victor), ingénieur de la Mission française au Caire (Égypte).
Vidard (Jean-Baptiste), rue Nollet, 56.
Vieillard (Jules-André-Albert), quai de Bacalan, 77, à Bordeaux (Gironde).

MM. VIGAN (Eugène-Médéric), Cours de Vincennes, 45.
VIGNIER (Pierre-Auguste) ✱, rue de la Paix, 98, Batignolles.
VIGREUX (Léon), boulevard des Filles-du-Calvaire, 8.
VILLERMÉ, à Trelon (Nord).
VINAY (Pierre-Jules-Émile), rue Vanneau, 38.
VINCHENT ✱, ingénieur en chef de l'État, à Bruxelles (Belgique).
VINIT (Pierre-Arsène), contrôleur au chemin de fer de Lyon, rue Montpensier, 34.
VIRON (Charles-Louis), chef de section du chemin de fer d'Orléans, à la gare, à Châtellerault (Vienne).
VORUZ aîné ✱, à Nantes (Loire-Inférieure).
VOYAECK (Ladislas), à Cologne (Prusse).
VUIGNER (Henri-Louis), rue de l'Université, 30.
VUIGNER (Adrien), rue des Saints-Pères, 14.
VUILLEMIN (Émile) ✱, aux Mines d'Aniche (Nord).
VUILLEMIN (Louis-Charles) ✱ O. ✱ ✱, rue Réaumur, 43.
WAHL ✱, rue de Bercy, 4, à Paris.
WALLAERT (Auguste), rue Saint-Sauveur, 23, à Lille (Nord).
WATTEVILLE (DE) (Charles-Louis), rue Turbigo, 89.
WEIL (Frédéric) ✱, rue des Petites-Écuries, 13.
WEST (Paul), rue de Clichy, 43.
WHALEY (Georges), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
WILLIEN (Léon), rue du Faubourg-de-Saverne, 10, à Strasbourg (Bas-Rhin).
WISSOCQ (Alfred), à Charleroi (Belgique).
WOHLGUEMUTH, calle del Consego de Ciento, 356-2, P. Ensenche à Barcelone (Espagne).
WOLMERINGER (Eugène-François), à Ismaïlia (Égypte).
WURGLER (André), rue de Compiègne, 2.
XAVIER (Jean), rue Laffitte, 46.
XIMENEZ (Aureliano), à Ciudad Real (Espagne).
YVERT (Léon), rue de Londres, 58.
YVON-VILLARCEAU (Antoine) ✱ ✱, rue Cassini, 14.

Membres Associés.

MM. CHATEAU, au port Saint-Ouen (Banlieue).
CORDIER (Henry-Georges), à Bellefontaine, district de Porrentruy, canton de Berne (Suisse).
COURLET, boulevard National, 167, à Marseille (B.-du-Rhône).
DAVILLIER (Henri) ✱, président de la Chambre du Commerce, rue Roquépine, 14.

MM. Durand (Eugène), rue de l'Arbre sec, 19, à Lyon (B.-du-Rhône).
Estoublon, maître de forges, rue Lepic, 57.
Even, rue Montoyer, 36, à Bruxelles (Belgique).
Garnier (Ernest-Louis-Auguste) O. ✱, rue St-Pierre-Popincourt, 4.
Garnier (Paul-Casimir), rue Taitbout, 16.
Géneste (Eugène), rue du Chemin-vert, 34.
Gérard (Gustave-Eugène), rue du Théâtre, 100, Grenelle.
Geyler (Henry), boulevard Beaumarchais, 113.
Joubert (René-Achille), rue de la Fidélité, 11, à Angers (Maine-et-Loire).
Laveissière (Ernest-Jean), rue de la Verrerie, 58.
Laveissière (Jules-Joseph), rue de la Verrerie, 58.
Lesseps (de) (Ferdinand) O. ✱ ✱, ✱ président de la Compagnie universelle du canal de Suez, rue Richepance, 9.
Léon (Alexandre), Cours du Chapeau-Rouge, 11, à Bordeaux (Gir.).
Luck (Édouard), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Ménier (Émile-Justin), rue Sainte-Croix de la Bretonnerie, 37.
Morizot (Édouard), à Écos (Eure).
Moyse Maurice), rue Pigalle, 16.
Oescher (Louis-Gabriel), à Biache-Saint-Wast (Pas-de-Calais).
Pereire (Émile) C. ✱ ✱, président du Conseil d'administration du Chemin de fer du Midi, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pereire (Isaac) O. ✱ ✱, président du conseil d'administration de la Société autrichienne impériale et royale, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Robin (Théodore), rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Vickers, rue et hôtel du Helder.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 3.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, rue de Londres, 8.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, rue Laffitte, n° 17.

Secrétaire-Archiviste.

M. Husquin de Réville ✱, rue Buffault, 26.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

Ier TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1869

Séance du 8 Janvier 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

L'ordre du jour appelle l'installation des membres du bureau et du comité, pour l'année 1869.

M. Love, président sortant, prononce le discours suivant :

« Messieurs et chers confrères,

« Avant de céder le fauteuil à celui que vos nombreux suffrages y ont si justement appelé, je passerai en revue les faits et travaux qui se rapportent à l'année qui vient de s'écouler. Je le ferai aussi brièvement que possible, afin de laisser à mon successeur tout le loisir de développer ses vues sur la direction qu'il peut désirer voir prendre à vos travaux.

« Tout d'abord un souvenir est dû à ceux dont la mort nous a séparés. Bien que le Président sortant que j'ai remplacé ait déjà mentionné le fait, je dois inscrire en tête de la liste nécrologique de l'année 1868 M. le général Poncelet, de l'Institut, membre honoraire de cette Société. Nous avons eu le chagrin de le voir suivre à peu de distance par un autre confrère, aussi membre de l'Institut, M. Foucault. A côté des regrets que de telles pertes inspirent, laissez-moi exprimer l'espoir que nous verrons leurs places, auprès de nous, reprises par quelques-uns de leurs collègues, à moins qu'ils ne soient remplacés par des membres de cette Société appelés à l'Institut, comme notre camarade M. Yvon-Villarceau.

« Nous avons encore perdu M. de Planhol, un vétéran parmi les ingénieurs de chemins de fer. M. Evans, Ingénieur à Boston, M. Fouju, directeur des mines en Sardaigne, MM. Calard et Laumont, et tout récemment M. Leconte, ingénieur en chef du matériel et de la traction du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditer-

ranée, M. de la Portilla, constructeur-mécanicien à Séville, et M. Dinan, chef de section aux chemins de fer du Midi.

« La mort a frappé cette année de tous côtés, à coups redoublés ; nous avons été atteints plus que de coutume. C'est une raison d'espérer qu'elle nous éprouvera moins dans l'année qui commence.

« Les honneurs n'ont pas manqué à la Société. J'ai eu déjà le plaisir de vous annoncer et j'enregistre de nouveau, à cette place, les nominations dans les divers ordres français et étrangers :

« Légion d'honneur : M. Schneider, grand-croix ; MM. Castor et Lavalley; officiers ; MM. Delaunay, Petitgand, Pouel et Ser, chevaliers.

Ordre de Léopold de Belgique : MM. Andry et Orsatti, chevaliers.

Ordre du Christ de Portugal et d'Isabelle la Catholique : M. Bevan de Massy, commandeur.

Ordre de Charles III d'Espagne : M. Marco-Martinès, chevalier.

Ordre de la Rose du Brésil : M. Banderali, officier.

MM. Neri et Husquin de Rhéville, chevaliers.

« A côté de ces distinctions, j'aurais voulu inscrire les positions nouvelles plus ou moins importantes prises dans le professorat, l'Industrie et les travaux publics, en France et à l'étranger, par des ingénieurs civils. Je serais même disposé à attacher à ces renseignements plus de prix qu'à tous autres, parce qu'ils sont les plus propres à donner la mesure de l'importance croissante de notre Société. Je regrette vivement que l'idée m'en soit venue trop tard pour la mettre à exécution, comme je l'aurais voulu. Mais je me permettrai d'en recommander l'application à mes successeurs.

« En attendant, pour joindre l'exemple à la recommandation, j'ai le plaisir de signaler à votre attention l'avénement à la position d'Ingénieur en chef, directeur du matériel et de la traction des chemins de fer du sud de l'Autriche, de notre jeune camarade M. Gottschalk, en remplacement de notre nouveau collègue du comité, M. Desgrange qui, vous vous le rappelez, a occupé cette importante position d'une manière si distinguée. M. Marié a remplacé dans une position semblable, au chemin de fer de Paris à Lyon, notre confrère décédé, M. Leconte. MM. Jules Flachat et Paul Vergnes ont été appelés au poste d'Ingénieur en chef du service de la construction, le premier, de la ligne de La Rochelle à Napoléon-Vendée, le second, de la ligne difficile d'Angoulême à Limoges. M. Louis Richard a été nommé Ingénieur Principal de la construction de la Compagnie des chemins des Charentes, aujourd'hui concessionnaire de 700 kilomètres de chemin. MM. Ser et Lecœuvre ont été confirmés, comme titulaires de la chaire qu'ils occupaient à l'École centrale. M. Revellat a été nommé ingénieur en chef du Service Municipal des travaux publics de la ville de Toulon. M. Goschler qui, dans ces derniers temps, s'est presque exclusivement consacré à l'exécution de son important ouvrage sur l'exploitation et l'entretien des chemins de fer, a terminé à son honneur la tâche qu'il s'était imposée. MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné ont obtenu la médaille Perdonnet, pour leur remarquable mémoire sur la résistance des trains et la puissance des machines locomotives. Enfin le dernier fait que je trouve à citer dans l'ordre de ceux qui précèdent, et l'un des plus intéressants, à mon avis, c'est l'obtention de notre médaille d'or par M. Achille Le Cler, pour son mémoire sur l'endiguement et la mise en culture des polders de la baie de Bourgneuf, en Vendée. Je saisis cette occasion pour rappeler de nouveau que les travaux agricoles sont un champ aussi intéressant qu'immense, qui s'ouvre de plus en plus à l'activité des

ingénieurs et où l'on peut trouver de nouvelles occasions de gagner, avec la fortune, la médaille d'or.

« Parmi les travaux que j'ai à passer en revue, je dois mettre en première ligne ceux qui par leur importance exceptionnelle excitent, à bon droit, un intérêt universel : ceux de l'Isthme de Suez et du tunnel du mont Cenis. Ce dernier travail n'a été cette année l'objet d'aucune communication à la Société, et j'ai le regret de n'en pouvoir rien dire. Quant à l'autre, vous avez entendu de nouveau M. Lavalley, dans la séance extraordinaire du 27 novembre, vous rendre compte de l'avancement des travaux qu'il exécute, avec son associé, M. Borel, avec une habileté qui lui a valu une distinction justement méritée. S'appuyant sur les résultats obtenus mensuellement avec les remarquables engins qu'il vous a décrits, il vous a annoncé l'ouverture du canal à la navigation pour le mois d'octobre de cette année. Quelques chiffres vous permettront de vous faire une idée de la possibilité d'atteindre ce but.

« Au commencement de l'année précédente, je vous annonçais les résultats suivants :

Travail de déblai fait en décembre 1867 . . .	1.130.386m.c.	
Cube restant à extraire.		39.026.189m.c.
Cube de blocs immergés dans le même temps pour les jetées de Port-Saïd.	7.917	
Cube restant à immerger		76.253
Du 15 mars au 15 avril 1868 le cube extrait avait atteint près de	1.500.000	
Le cube de blocs immergés pour les jetées. .	9.700	
Et le nombre des terrassiers s'était élevé de 8,795 à	11.227	
Du 15 avril au 15 mai, le cube extrait s'était élevé à	1.800.000	
Du 15 juin au 15 juillet, le cube extrait a été	1.811,000	
Le cube de blocs immergés pour les jetées a été de	10.625	
Du 15 juillet au 15 août, le cube extrait a été de	2.114.150	
Le cube de blocs immergés a été de	8.797	

« Le nombre d'ouvriers employés s'est élevé à près de 12.000.

« Le mois suivant, le chiffre 2.000.000 de mètres cubes extraits se maintient. Le nombre d'ouvriers atteint, à la date du 15 octobre, 16.850.

A cette époque, il ne restait plus à extraire que.	22.764.412
Et à immerger, pour les jetées, que	12.289

« Or, si l'extraction continue à raison de 2 millions de mètres cubes par mois, et ce chiffre est toujours dépassé depuis le mois d'août, on voit que rien n'est plus facile que de réaliser le résultat annoncé.

« L'année 1869 verra donc s'accomplir la première étape d'exploitation de l'œuvre grandiose entreprise par M. Ferdinand de Lesseps. Souhaitons-lui d'être bientôt obligé d'agrandir le canal à la largeur projetée. Ce sera une belle récompense de ses efforts persévérants.

« Les appareils producteurs de la vapeur ont été l'objet de trois communications intéressantes, qui nous ont été faites par MM. Belleville, Ball et Maldant, et dans lesquelles les auteurs MM. Belleville, Field et Barret se sont efforcés de réaliser la triple économie d'acquisition de l'appareil, de la place qu'il occupe et du combustible

employé. L'expérience nous apprendra un jour ou l'autre dans quelle mesure ces divers résultats ont été atteints *définitivement*.

« L'exposition universelle de 1867, après avoir alimenté les séances hebdomadaires de l'année précédente, nous a encore fourni un contingent très-intéressant dans l'année qui vient de s'écouler. M. Martin vous a exposé le résultat de ses observations sur les engins servant à la fabrication du papier, et sur l'introduction croissante de la pâte du bois dans celle de chiffons : ce qui contribue à diminuer notablement le prix du papier, sans lui enlever aucune de ses qualités essentielles. C'est une chose très-intéressante de voir la chimie et la mécanique unir leurs efforts pour se tenir au niveau des besoins croissants de l'instruction, de manière à pouvoir nous fournir tous les jours de plus grandes quantités de papier, sans en augmenter le prix. Cette industrie est certainement une de celles qui ont le plus de droits d'attirer notre attention, et j'espère que ceux qui s'en occupent ne la perdront pas de vue et viendront nous tenir au courant des nouveaux progrès qu'elle réalisera.

« M. Bonnet a occupé deux de vos séances et a excité vivement votre intérêt, en vous rendant compte, dans un mémoire très-bien fait, des travaux de la 21e section, sur les locomotives et tenders, et l'outillage des ateliers.

« Les documents joints à ce travail sont précieux. C'est une mine très-riche, où les ingénieurs des chemins de fer peuvent trouver des éléments pour les nouveaux progrès à accomplir. La Compagnie des Charentes ne s'est pas fait faute d'y puiser largement. En résumé, il y a peu de dispositions nouvelles dans les machines, mais les dispositions récentes se classent, s'affirment en se généralisant, et constituent en définitive un progrès relatif, qui n'est pas à dédaigner, à côté duquel il faut mentionner un progrès dans la fabrication et une diminution très-remarquable dans le prix de ces appareils importants.

« La 20e section a également fourni de volumineux dossiers de renseignements sur les voitures et les wagons, que l'on consultera avec fruit. Elle a accusé, comme un des traits les plus saillants de cette partie de l'Exposition, l'introduction des châssis en fer à laquelle la rareté croissante des bois secs force d'avoir recours. Ce qui, en somme, se traduit par un progrès réel, auquel il ne manque que de l'obtenir sans augmentation sensible de prix de revient.

« On peut encore signaler l'extension donnée à l'emploi des voitures à impériale couverte et fermée, qu'il serait désirable de voir se substituer dans les chemins de banlieue aux voitures actuelles, causes de trop nombreux accidents. Les chemins de fer d'intérêt local n'ont pas d'autre type à adopter, et l'on trouvera peut-être bientôt que l'application pourrait en être faite avec avantage à beaucoup de lignes nouvelles des grands réseaux de chemin de fer. Cette éventualité donne beaucoup d'importance à la question de savoir dans quelle mesure les brevets pris pour cette espèce de voitures peuvent en gêner et retarder l'application.

« Je dirai de suite, sauf à revenir prochainement sur cette question, qu'à mon avis, ceux qui revendiquent le plus *bruyamment* la priorité de l'invention sont mal fondés dans leurs prétentions. Tout au plus peuvent-ils se prévaloir de quelques dispositions de détail, comme celle qui consiste dans un moyen particulier d'abaisser plus ou moins le brancard au-dessous du centre des tamponnements ; mais le principe de cette disposition aussi bien que celui de l'impériale fermée est, j'en suis convaincu, dans le domaine public.

« Une des communications les plus intéressantes auxquelles l'Exposition universelle ait donné lieu est celle qui vous a été faite par M. Maldant, avec cette lucidité

qui lui est propre, sur la production de la lumière *oxhydrique*. La Société a donné à l'exposé de notre confrère l'attention particulière qu'il méritait, et l'a mis ainsi dans l'obligation de la tenir au courant des progrès de la nouvelle industrie, à mesure qu'ils se produiront.

« Le jury de l'Exposition universelle a décerné la grande médaille d'or aux produits minéraux de Colorado. Ces produits ont été, pour M. Simonin, l'occasion de nous entretenir de son voyage en Amérique, dans les nouveaux terrains aurifères, avec cette parfaite connaissance du sujet, et ce talent d'exposition qui donnent un attrait particulier à ses communications. Il a indiqué à nos confrères métallurgistes un point qu'ils ne perdront pas de vue, je l'espère, la recherche d'un procédé permettant de tirer des riches minerais de Colorado, la totalité de l'or qu'ils contiennent.

« On peut encore citer, comme se rattachant à l'Exposition universelle de 1867, la très-importante communication de MM. Normand et Mallet *sur les conditions du travail et les utilisations des machines marines*, qui est en quelque sorte la continuation d'une première communication faite pendant l'Exposition, et dans laquelle les auteurs s'étaient efforcés de faire ressortir la supériorité des dimensions des machines de la marine anglaise sur celles de notre marine. Je ne puis entreprendre de résumer une exposition détaillée faite sur une question importante qui n'a pas occupé moins de trois séances, et qui reviendra sans doute encore à l'ordre du jour. Je me contenterai de rappeler que les vues de MM. Normand et Mallet sur la situation relativ des marines anglaise et française ont rencontré un contradicteur patriotique dans M. Belleville : ce qui n'ôte rien, de l'aveu de M. Belleville lui-même, au mérite, à l'utilité et à l'opportunité extrêmes de la communication.

« A propos de la question de marine, je suis naturellement amené à mentionner la note très-intéressante de M. Lissignol, sur la substitution du zinc au cuivre dans le doublage des navires. Je le fais à double intention, parce que d'abord je ne puis omettre un travail aussi intéressant dans la récapitulation des travaux de l'année, et secondement parce que cela me fournit l'occasion de rappeler à notre collègue l'offre qu'il a bien voulu me faire de communiquer à la Société des résultats de l'application du nouveau procédé.

« Quelques séances ont été consacrées à l'examen de divers systèmes de constructions de silos pour la conservation des blés, produits à l'Exposition universelle. A l'occasion du procédé proposé par M. Coignet, M. Rouyer nous a lu une note qui passe en revue les divers systèmes exposés. Il semble résulter de ces communications qu'en Afrique le procédé le plus simple et le plus économique sera toujours celui employé par les Romains, plus ou moins perfectionné, comme il pourrait l'être par l'application du procédé Coignet, et qu'en France on devra avoir recours, selon toutes probabilités, aux systèmes Doyère et Louvel. Cette question est des plus intéressantes. Elle pourrait revenir à l'ordre du jour conjointement avec celle qui traiterait des moyens de faire de l'Algérie le grenier des céréales pour l'Empire français. C'est une terre qui a toujours eu une aptitude particulière pour cette production, et l'on devrait songer à tirer ce parti de notre colonie. En extraire du blé par une culture en grand et par les moyens mécaniques les plus perfectionnés, en y employant une armée inoccupée, système que le colon ne peut aborder, le livrer à la consommation aux dernières limites du bon marché, serait certainement une entreprise plus populaire que celle des monopoles du transport des dépêches écrites ou télégraphiques, et à coup sûr plus morale et plus utile que celle de la fabrication du tabac.

« Quelques questions théoriques ont été traitées au commencement de l'année. L'une d'elles relative au calcul des moments de flexion maxima dans les ponts droits a donné lieu à une discussion étendue, à laquelle ont pris part MM. Albaret, Molinos, Renaudot, de Dion et Dallot. Ce dernier laissant à MM. Molinos et de Dion la discussion du point particulier, soulevée à propos d'une application à un pont du chemin de fer de Saint-Germain, a examiné l'esprit général des publications ayant trait au débat et il l'a fait, dans la séance du 3 avril, avec une science et une connaissance pratique du sujet, qui méritent d'être rappelées avec éloge.

« Sous les auspices de M. Callon, M. Pichault a introduit dans la Société la question de l'*aviation* par une lettre où sont exposées des vues théoriques très-plausibles. Cette communication demande une suite que notre jeune confrère nous donnera sans doute prochainement.

« Plusieurs membres de cette Société m'avaient promis des communications sur l'électricité. Nous n'avons pas eu le plaisir de les entendre. J'espère qu'ils n'oublieront pas leurs bonnes intentions. En attendant, M. Arson, qui n'avait rien promis, vous a lu un mémoire intéressant sur les causes de désordre auxquelles sont soumises les boussoles des navires en fer et les modifications à apporter dans la construction des coques pour les prévenir. Le mémoire de M. Arson comprend une partie théorique et expérimentale qui apporte à la science de nouveaux éléments ; une partie pratique qui pourrait faire l'objet d'une discussion, et qui, dans tous les cas, a besoin de la sanction d'une expérience en grand.

« Ne pouvant tout citer avec détails, je mentionnerai rapidement la statistique de la construction des lignes de chemins de fer construites par M. Nordling, bon exemple à imiter pour l'instruction professionnelle ; la communication du même sur le quatrième cas de renversement de voitures d'un train, occasionné par le vent sur le chemin de fer du Midi, donnant les détails du phénomène et ses rapports avec les calculs de stabilité des grands viaducs métalliques ; la note annuelle sur les résultats économiques d'exploitation sur la ligne du Sud autrichien, où M. Gottschalk s'applique à suivre les excellentes traditions laissées par notre collègue, M. Desgrange, et à propos de laquelle ce dernier, dans le compte rendu qu'il nous en a donné, fait ressortir, outre les résultats économiques obtenus, les bons effets résultant de l'application sur le Brenner du frein par contre-vapeur de M. Lechatellier; et enfin le mémoire sur les signaux d'embranchement usités en Angleterre, par M. Georges Tardieu ; celui de M. Fellot, sur la machine à perforer les roches, du capitaine Penrice.

« Une mention est également due à la note de MM. Flachat et Noisette sur l'application de l'asphalte aux planchers des magasins et greniers de la Compagnie générale des Omnibus; à la communication de M. Piarron de Mondesir, ingénieur des ponts et chaussées, sur la ventilation par air comprimé.

« Pour terminer le résumé de vos travaux, il ne me reste qu'à rappeler la part prise par MM. Richard, Eug. Flachat, Molinos et Pronnier, Mathieu, Nordling, Regnard, Yvan Flachat, Morandière, dans la production de notes intéressantes et la discussion sur l'importante question des chemins de fer d'intérêt local. Je l'ai déjà dit et je le répète, il y a dans ces notes et dans les discussions qui les ont suivies les éléments d'un livre très-intéressant sur une des questions les plus graves et les plus actuelles qu'il y ait. J'espère que la Société des Ingénieurs civils ne verra pas d'autres que l'un de ses membres se charger du soin de publier un tel livre, dont le succès ne peut faire doute, pour peu que l'on y mette quelque attention.

« L'année qui vient de s'écouler a clos la vingtième année d'existence de la Société,

pendant laquelle vingt volumes ont fourni la preuve de sa vitalité et de son activité.

« Il a dû arriver à plus d'un d'entre nous de trouver quelques difficultés à les consulter, faute d'une table résumant, par ordre alphabétique, la matière des volumes parus. J'ai cru devoir mettre un terme à cette situation en chargeant M. Husquin de dresser cette table, ce qu'il a fait avec tout le soin qu'il apporte à tout ce qui intéresse la Société. Elle paraîtra sous peu. A l'avenir, je crois que l'on fera bien, pour faciliter les recherches, de résumer chaque année, sous cette forme, la matière des volumes parus, en recommençant une nouvelle table à chaque période décennale.

« Il ne me reste plus qu'à vous entretenir de deux questions qui touchent à l'avenir de la Société : la question de changement de local, celle de l'augmentation de la cotisation annuelle.

« Depuis longtemps les membres qui m'ont précédé au fauteuil se sont occupés de la première question à laquelle se rattache la seconde d'une manière inévitable. J'avais fait déjà, il y a quatre ans, une première proposition tendant à l'acquisition d'un petit hôtel, rue Saint-Georges, qui, avec les appropriations nécessaires, n'aurait pas coûté plus de 250,000 francs. Cette proposition a échoué devant l'avis invoqué d'un architecte étranger à cette Société, lequel a déclaré que l'hôtel proposé ne présentait aucune solidité. Ce qui ne l'empêche pas, après quelques légères réparations, de faire aujourd'hui une très-belle figure et d'occuper une position centrale, bien enviable, que l'on aura bien de la peine à retrouver. Cette proposition a été suivie d'une autre consistant à acheter un terrain et construire un hôtel, rue Bellefond, au haut de l'escalier monumental qui descend sur le square Montholon.

« Cette proposition ne se recommandait, à mon avis, ni par la position, ni par le bon marché du terrain. Elle ne fut pas accueillie. Au commencement de l'année 1868, je proposai l'acquisition d'un petit hôtel, rue La Bruyère, dans le voisinage de la place Saint-Georges. Cet immeuble en très-bon état, peint à neuf, dans lequel on n'avait qu'à démolir une cloison pour faire une belle salle de comité et dont le jardin aurait fait une magnifique salle de séance, a été adjugé au prix de 135,000 francs. Le comité s'était décidé à se présenter à l'adjudication, mais en subordonnant cette démarche à l'avis d'un chef du contentieux sur une question de location. Cet avis confondant dans mon opinion et dans celle du chef du contentieux des Charentes deux espèces entièrement différentes a été contraire à l'acquisition. L'affaire a donc été écartée. Ce qui a permis à la précédente de revenir sur l'eau, sans plus de succès. Je passe sous silence diverses autres combinaisons plus ou moins dignes d'examen, pour en venir de suite à deux occasions exceptionnelles manquées, au grand regret, je crois pouvoir le dire, de la majorité du Comité.

« Dans la rue Bergère, sur des terrains déblayés appartenant aux héritiers Hottinguer, s'est présenté un premier lot, de 200 mètres environ, admirablement situé et au prix avantageux de 320 francs le mètre. Le Comité s'était prononcé presque à l'unanimité pour saisir cette occasion. Mais les délais qu'exige une réunion de ce Comité ont suffi pour trouver le lot vendu, quand on s'est présenté pour l'acheter. Un deuxième lot, de même dimension que le premier, affranchi d'une servitude qui pesait un peu sur celui-là, s'est ensuite présenté au prix de 350 francs. Le Comité consulté de nouveau, à plusieurs reprises, malgré le désir manifesté par quelques membres, de pourvoir, avant toute acquisition, aux voies et moyens par une augmentation de la cotisation, a pensé qu'il y avait lieu d'essayer de saisir cette nouvelle occasion.

Des pourparlers s'engagèrent, pendant lesquels le lot recherché nous a été annoncé comme presque vendu. On y substitua la proposition d'acquérir un hôtel voisin. Mais, examen fait sur place par une commission, on trouva l'immeuble peu convenable et l'on renonça, avec raison, à poursuivre cette acquisition.

« Il ne m'appartient plus de faire aujourd'hui aucune nouvelle proposition. Je me contenterai, pour terminer, de tirer la morale de l'historique que je viens de vous retracer sommairement.

« Tout en se prononçant pour l'affirmative, le Comité a toujours été retenu par deux scrupules qui montrent sa prudence, le soin qu'il a de vos intérêts, la déférence qu'il a pour ses mandants, et en conséquence il a toujours voulu subordonner l'acquisition définitive à l'approbation de l'assemblée générale, et l'érection d'un hôtel à l'augmentation de la cotisation qui dépend de la même assemblée et du Conseil d'État. Il faut donc, si vous voulez sortir du local que vous habitez, si peu propre à vous donner du relief, si peu convenable pour y inviter des étrangers, en même temps qu'il répond à vos besoins d'une manière très-insuffisante, il faut que dans une prochaine assemblée générale vous décidiez que la cotisation sera élevée, et elle pourrait l'être, à mon avis, comme le propose M. Nordling dans une note autographiée très-bien faite, dont vous pourrez prendre connaissance au secrétariat, en attendant le rapport spécial qui vous sera fait sur cette question. D'ailleurs, comme les affaires d'acquisition de terrain ou d'immeuble sont toujours des occasions qu'il faut saisir à très-bref délai sous peine de les perdre, que les discussions et indécisions d'un conseil délibérant ne peuvent s'accommoder facilement à ces circonstances inévitables, je crois pouvoir vous dire que vous serez obligés, si vous voulez en finir, n'importe quand, de vous en remettre au bureau seul du soin de conclure cette affaire. Tel est le résultat de mon expérience qu'en terminant je recommande à vos méditations.»

M. Love cède le fauteuil de la présidence à M. Alcan, qui s'exprime en ces termes :

« Messieurs et chers confrères,

« L'honneur de présider vos réunions a une valeur telle à mes yeux que je n'aurais osé y prétendre, si, par une bienveillance qui me touche profondément, vous ne m'aviez spontanément offert vos suffrages. Ce précieux témoignage d'estime est pour moi la glorieuse consécration d'une longue carrière. Mais toute situation a ses périls; j'en suis plus pénétré que jamais en songeant aux éminentes qualités de mes prédécesseurs qui, depuis le premier jusqu'à celui auquel j'ai l'honneur de succéder, se sont signalés par la variété et l'étendue de leurs connaissances, autant que par leur dévouement aux intérêts de notre Compagnie.

« Mes efforts tendront à les imiter en conservant l'utile direction qu'ils ont imprimée à nos travaux, et la confraternité qui caractérise nos relations.

« Les recherches et les études inscrites dans les bulletins de la Société des Ingénieurs civils sont dignes en effet de l'état-major de la grande armée industrielle qui sut conquérir avec patience et à force de services rendus une place longtemps contestée. On a peine à croire aujourd'hui de quels obstacles se trouvait entravée jusqu'aux premières années de ce siècle, l'exécution des œuvres utiles au développement de la richesse publique et du bien-être général. N'a-t-il pas fallu la puissance

de Louis XIV, le zèle de Colbert, les sacrifices patriotiques de Riquet et la persévérance de l'habile ingénieur Andreossi pour terminer le canal du Languedoc, dont l'entreprise conçue par Charlemagne avait été successivement patronnée par François Ier, Charles IX, Henri IV et Louis XIII? Quel contraste entre cette longue période d'incubation et les vingt dernières années, pendant lesquelles la solution des projets les plus hardis a justifié la valeur du mot *génie* appliqué à la science des constructions. Le percement de l'Isthme de Suez, dont nous enregistrons la marche régulière, et qui sera un fait réalisé dans le courant de cette année; les chemins de fer qui déjà permettent à la locomotive d'escalader les versants des Alpes, et feront bientôt disparaître la barrière naturelle élevée entre la France et l'Italie, laissant bien loin les travaux mémorables du Simplon; l'application de l'hélice aux navires à vapeur, la substitution des appareils électriques au mystérieux télégraphe à signaux, etc., provoquent sans cesse de nouveaux progrès dus à un grand nombre d'entre vous.

« Je n'insisterai pas devant un auditoire aussi compétent sur la grandeur des résultats techniques obtenus; mais je ne puis me défendre de me féliciter avec vous de leurs conséquences doublement heureuses au point de vue social: la propagation des engins automatiques profitable à l'amélioration physique et intellectuelle du travailleur, la participation de tous aux bienfaits de l'industrie qui trouve, en retour, un puissant élément de succès dans l'importance de sa clientèle. Les sciences appliquées, dont la salutaire influence est parfois discutée ou méconnue par ceux qui leur doivent davantage, n'ont-elles pas déterminé la réduction des heures de travail et l'élévation des salaires, la création de procédés hygiéniques qui ont transformé un grand nombre d'industries dont l'insalubrité paraissait d'abord inévitable.

« Sans doute il reste bien à faire, mais à chaque jour sa tâche: les *perforateurs*, les *charrues à vapeur*, les *moissonneuses*, les *locomotives routières*, etc., etc., toutes ces machines isolées qui fonctionnent, nous allions dire individuellement, datent à peine d'hier et se propageront comme les autres outils automatiques groupés, au contraire, dans de vastes usines; l'*homme moteur* a fait son temps et veut être davantage. Aussi le rôle de l'ingénieur libre ne cesse-t-il de grandir; le recueil des comptes rendus de vos séances en donne des preuves nombreuses; les traités importants dus à plusieurs de nos confrères s'ajoutent à cette publication pour former une sorte d'état civil industriel. Nous voyons ainsi comment, à la faveur de l'abaissement considérable des prix de transport, les matières premières manufacturées en Europe retournent aux contrées dont elles sont originaires, en laissant entre nos mains la valeur des transformations. Les progrès que ce fait démontre sont d'ailleurs multiples et solidaires : tandis que les prix du transport se trouvent réduits de 4 à 1, et que le rapport des vitesses s'élève de 1 à 5, comme l'a démontré notre président honoraire, M. Flachat, dans son beau travail sur la dernière Exposition universelle, des résultats au moins équivalents se sont réalisés à l'égard des produits qui font l'objet de ces transports. Le traitement des déchets même, longtemps négligés, engendre de nouvelles industries; la teinture puise, depuis quelques années, dans les résidus de la houille naguère embarrassants, des couleurs éclatantes dont le nombre croît sans cesse; les eaux grasses et corrompues sont utilisées comme matières premières à des industries importantes et deviennent des sources fertilisantes; certains chiffons, à peine employés autrefois sous forme d'engrais, se trouvent *régénérés* par des moyens chimiques et mécaniques qui en décuplent la valeur; la paille et le bois sont venus au secours de la fabrication du papier; de nouveaux procédés de carbonisation des plantes marines modifieront économiquement la production de l'iode et du brôme pénible-

ment obtenus jusqu'ici; de précieux résidus perdus dans les fonderies vont être à leur tour mis à profit, grâce aux recherches de deux de nos confrères.

« Chaque pas en avant dans la direction que nous nous bornons à indiquer témoigne du concours des nôtres; les découvertes sont rarement aujourd'hui les effets du hasard, et, si quelques inventeurs de génie atteignent parfois à des résultats inattendus, les données théoriques établies par les maîtres leur permettent de compléter aussitôt des créations qui demeureraient autrement imparfaites et improductives. Les spécialités les plus modestes, en apparence, sont l'objet de votre étude. Pour n'en citer qu'un exemple, des procédés aussi considérables que précis sont consacrés à la fabrication des plumes métalliques, et fournissent annuellement pour des millions de francs de produits, dont chaque spécimen revient à une fraction de centime. Parfois des industries entièrement distinctes se prêtent un mutuel appui : un ingénieur, familiarisé avec les ressources de son art, a imaginé de diriger l'air d'une machine soufflante sur un jet de gomme liquide pour couvrir de globules transparents bientôt solidifiés, des tissus légers qui semblent parsemés de perles ou de poussière de diamants, et cette idée originale trouve d'autres applications dans la peausserie, la fabrication des papiers peints, etc. Vous savez comment dans l'essai des plaques métalliques destinées au doublage des navires, le courant électrique révèle certains défauts tellement intimes, qu'ils échappent même à l'analyse chimique.

« Pendant que le domaine de notre profession s'enrichit aussi bien par les moyens les plus délicats que par les engins puissants réservés aux grands travaux publics, l'une des spécialités dont l'importance était secondaire, va probablement se développer dans des proportions inattendues. Mon honorable prédécesseur a signalé dans le remarquable résumé que vous venez d'applaudir des faits de nature à nous en convaincre. Les populations rurales, si longtemps rebelles à l'adoption des méthodes nouvelles, paraissent enfin comprendre qu'elles chercheraient vainement en dehors de la science pratique, la solution des problèmes qui ouvrent une vaste carrière à nos jeunes confrères. Trouveront-ils là des difficultés plus considérables que celles dont la manufacture a triomphé à ses débuts? Nous ne le pensons pas; le terrain est déjà préparé; l'efficacité des drainages, des irrigations, des endiguements, des engrais artificiels, des machines à battre, à broyer, à teiller, à décortiquer, etc., n'est mise en doute par personne; les perfectionnements apportés à la fabrication des huiles et du sucre indigènes, qui ont fait des graines oléagineuses et de la betterave d'importantes matières manufacturières, sont un puissant exemple.

« L'achèvement du réseau complémentaire des voies ferrées départementales et vicinales amènera forcément des rapports profitables aux habitants des campagnes et aux hommes de notre profession. Les terrains pauvres, les espaces perdus, de même que les riches exploitations agricoles, seront aménagés un jour avec autant d'économie que les usines les mieux montées, et le sol s'enrichira chaque année de deux milliards, au moins, de substances fertilisantes qui souillent et infectent les localités où elles se perdent.

« Que le personnel des ingénieurs libres se répande dans nos campagnes, que ses aptitudes si diverses soient largement mises à profit dans les localités encore déshéritées ou insuffisamment pourvues d'un concours scientifique, et bientôt, j'en ai la conviction, les révisions les plus ambitieuses seront en voie de réalisation.

« Messieurs et chers confrères,

« Je ne vous ai rien dit encore de nos travaux futurs; les programmes sont trop rarement suivis pour que je me croie autorisé à vous en tracer un. Je me bornerai à émettre quelques vœux :

« Parallèlement aux discussions qui intéressent les grandes entreprises de viabilité dont, comme vous, j'apprécie la portée, je désirerais voir à l'ordre du jour l'examen de quelques autres industries, qui trouveraient dans notre Société des interprètes compétents.

« Ne vous semble-t-il pas également que le moment soit opportun pour nous occuper de l'enseignement professionnel, inscrit avec une sage prévoyance dans le paragraphe 3 de l'article II des statuts. Si chacun veut bien apporter le concours de ses lumières et de son expérience, il en résultera une sorte d'enquête, utile à consulter par les pouvoirs publics qui doivent, si je ne me trompe, traiter bientôt cette difficile question.

« Le paragraphe 4 du même article de nos statuts est conçu comme il suit : « A poursuivre par l'étude des questions d'économie industrielle, d'administration « et d'utilité publique, l'application la plus étendue des forces et des richesses « du pays. » On ne saurait dire plus en moins de mots, et cette disposition nous invite à élaborer les sujets dont la solution intéresse le plus vivement la prospérité nationale. Qui peut mieux que vous déterminer l'emploi des capitaux improductifs et faire cesser entre les institutions de crédit et les établissements industriels un éloignement que semblent encourager le silence et la réserve des ingénieurs? Votre situation et votre caractère vous autorisent à signaler les branches du travail qui présentent des éléments de succès ou des causes d'infériorité, afin d'exercer une heureuse influence sur la fortune publique.

« Nos bulletins posséderaient un intérêt de plus, si des recherches historiques mettaient en lumière les œuvres et la vie des hommes qui ont exercé notre profession avant qu'elle existât de nom. Ces études révéleraient des faits trop souvent ignorés : A peine connaît-on De Gennes, qui inventa un métier à tisser automatique et en présenta les plans à l'Académie des sciences, un siècle avant qu'une machine analogue eût fait son apparition en Angleterre; les créations mécaniques de Léonard de Vinci ne seraient pas indignes de figurer à côté de ses autres travaux; Vaucanson est plus fameux par ses ingénieux automates que par les œuvres sérieuses où l'industrie contemporaine puise encore de précieux enseignements. Nos jeunes confrères pourraient, en feuilletant les annales du passé, contribuer à enrichir nos publications d'articles variés et leur donner ainsi une popularité de bon aloi.

« La prospérité croissante de notre Société prouve tout ce que vous avez déjà fait, chers confrères; certains d'entre vous ont redoublé de dévouement; il me serait doux de les nommer, si je ne craignais de blesser leur modestie. Vos suffrages, d'ailleurs, en les appelant à plusieurs reprises à ce fauteuil, montrent que nous les apprécions de même. Je vous réitère l'appel qu'ils vous adressèrent avant moi, en faveur de l'œuvre commune qui s'est acquise une place honorable parmi les institutions indépendantes du pays, et que nous devons grandir encore. Son influence ne saurait manquer de s'étendre, j'en puise la conviction dans le système libéral de notre recrutement. La Société des Ingénieurs civils renferme des savants éminents, des membres de l'Institut, des praticiens distingués, d'anciens élèves de toutes les

grandes écoles. Cette variété d'origines et de situations dont quelques-uns pouvaient au début redouter les effets, constitue un élément de force et représente ce que doit être la grande société humaine, chacun comptant pour ce qu'il vaut.

« Aussi, de même qu'il est glorieux pour le plus obscur soldat de contribuer à un beau fait d'armes, de même, Messieurs et chers confrères, je suis particulièrement satisfait et honoré de me compter au nombre des fondateurs de notre Compagnie et de vous dire avec le poëte :

« *Et quorum pars parva fui.* »

Le procès-verbal de la séance du 18 décembre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Cuinat, pour la lecture de sa communication sur le changement de voie Vander-Elst et Cie.

M. CUINAT fait au tableau un croquis de cet appareil, qui se compose de trois rails mobiles.

Deux de ses rails, réunis par des entretoises à articulation, sont disposés comme dans l'ancien changement à deux rails mobiles du chemin de fer de Saint-Germain.

Le déplacement de l'ensemble des deux rails est rendu solidaire du mouvement du troisième rail mobile appartenant à la voie oblique et situé à l'intérieur de la voie droite, au moyen d'un système de levier fixé dans la voie.

Le mouvement est donné au troisième rail mobile par un levier à contre-poids, et l'ensemble de l'appareil est disposé de façon que la voie droite, c'est-à-dire celle sur laquelle se fait la circulation normale, soit toujours ouverte.

M. CUINAT fait observer que, dans cette situation, le troisième rail mobile est déplacé vers l'intérieur, que l'écartement des rails de la voie oblique est moindre que la largeur normale. Il en résulte que si un train se présente sur la voie oblique pour passer sur la voie droite, les boudins des roues ramènent à la largeur de la voie le troisième rail mobile qui entraîne, par l'intermédiaire du levier, l'ensemble des deux premiers. Les deux rails mobiles de la voie droite viennent par suite se placer en face des rails de la voie oblique.

Après le passage du train, les rails sont ramenés dans leurs positions primitives par le contre-poids monté sur le levier.

M. CUINAT fait remarquer que ce changement est d'une construction très-économique, et qu'il est par suite applicable aux chemins de fer d'intérêt local, ou pendant la période de construction des grandes lignes, lorsque les terrassements et le ballast sont faits à la machine.

M. TARDIEU fait observer qu'avec le jeu des roues qui existe toujours entre les boudins et les rails il pourra se faire que l'appareil ne soit pas arrivé à fin de course, et qu'il y ait choc des roues contre les bouts des rails mobiles.

M. CUINAT répond que pour un matériel donné on pourra régler convenablement l'appareil, en prenant pour distances des deux rails l'écartement des boudins des roues et non l'écartement normal de la voie.

M. VUILLEMIN ajoute qu'il ne croit pas cet appareil applicable sur de grandes lignes, où circulent divers matériels, et que même ce changement peut présenter des inconvénients par suite de la circulation de roues à boudins neufs ou usés.

M. Tardieu fait ensuite observer que cet appareil a encore l'inconvénient de resserrer la voie dans une partie nécessairement courbe, tandis qu'il est nécessaire d'élargir les voies dans ce cas.

M. Dallot ajoute que tout dépend de la longueur de la courbe, et que cet inconvénient lui paraît très-faible pour une longueur de 3 à 4 mètres.

M. Tardieu observe que l'inconvénient existe dès que la longueur de la courbe est supérieure à l'écartement des deux essieux.

M. Normand fait remarquer qu'en courbe le boudin s'appuie forcément sur la ligne extérieure.

M. Love dit que les terrassements se font bien rarement à la machine, et demande à M. Cuinat comment on met le changement de voie Vander-Elst à l'abri des pieds des chevaux.

M. Morandière demande aussi quelle est la partie brevetée dans cet appareil.

M. Cuinat répond qu'on peut mettre l'appareil à l'abri à l'aide de planches, que d'ailleurs on a l'habitude de faire passer les chevaux sur le côté de la voie, si l'on a un obstacle à franchir et au moment de décrocher les wagons.

Il ajoute qu'il croit que MM. Vander-Elst ont entendu breveter l'ensemble de l'appareil.

Sur la demande de M. le Président, M. Cuinat ajoute qu'un changement de voie de ce système, appliqué à la gare de Malines, fonctionne depuis deux mois.

Un membre fait remarquer que tous les trains s'arrêtent à Malines, et, par suite ne passent en changement de voie qu'à faible vitesse.

M. le Président croit qu'on n'a pas bien compris que M. Cuinat ne propose ce système de changement de voie que pour des lignes secondaires, ou pendant la construction de grandes lignes.

M. Dallot trouve que dans ce dernier cas, ce changement est très-applicable. Il ajoute que son emploi permet de retarder la pose des appareils définitifs, qui sont trop délicats pour être employés pendant la construction.

M. Love trouve que le changement de voie à deux rails mobiles suffit pour tous les travaux de terrassement.

M. le Président remercie M. Cuinat de sa communication.

MM. Armengaud fils, Audemar, Crocé-Spinelli, Gigot, Gressier, Koch, Laurent, Lecoq, Ory, Robert, de Sépres, Sommer, Sonelet et Vanderheym ont été reçus membres sociétaires, et M. Ménier membre associé.

Séance du 22 Janvier 1869.

Présidence de M. Alcan.

M. le Président donne communication d'une lettre par laquelle M. Vidard, membre de la Société, fait une réclamation sur un passage du discours de M. Love, relatif aux voitures à deux étages.

Après une observation de M. Love, M. le Président fait remarquer que la lettre n'ayant pas trait au procès-verbal, mais concernant seulement une opinion individuelle, M. Vidard pourra présenter ses observations quand la question viendra à l'ordre du jour, ce qui ne manquera pas de se produire ainsi que l'annonce M. Love.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre de M. Eugène Flachat, par laquelle il fait connaître qu'un député, membre de notre Société, qui compte prendre la parole au Corps législatif, lors de la discussion sur le projet de loi sur l'enseignement technique, désirant connaître l'opinion des Ingénieurs civils, l'a chargé de demander de mettre cette discussion à l'ordre du jour de la séance du 5 février. M. Flachat joint à cette lettre un exemplaire du projet de loi et du rapport de M. Chaucard, pour que les membres que cette question intéresse puissent en prendre connaissance.

M. FLACHAT pense qu'en raison de l'intérêt tout spécial pour la profession d'ingénieur civil que présente cette question, sa proposition sera acceptée.

M. LE PRÉSIDENT annonce que cette question sera portée à l'ordre du jour de la séance du 5 février.

Il est ensuite donné communication de la lettre suivante de M. de Fréminville, ingénieur de la marine :

« En lisant le compte rendu de la séance du 4 décembre 1868 de la Société des Ingénieurs civils, j'ai remarqué que, dans une discussion engagée au sujet de l'important Mémoire de MM. B. Normand et Mallet, sur *les conditions de travail, l'utilisation et les résultats de divers systèmes de machines marines*, M. Belleville citait des chiffres de rendement notablement supérieurs à ceux que M. B. Normand déclarait avoir empruntés à un traité dont je suis l'auteur.

« Je m'empresse de reconnaître que les chiffres cités par M. Normand sont en effet inscrits textuellement dans mon traité; mais je tiens à établir en même temps qu'ils ne sont pas en contradiction avec les chiffres de puissances maxima obtenus aux essais, cités par M. Belleville.

« Leur désaccord apparent provient uniquement de ce que, dans l'impossibilité de reproduire *in extenso* les épreuves de recettes de machines dont je donnais les résultats, j'ai cru devoir me borner aux *rendements moyens* qui se rapprochaient le plus de ceux que l'on est en droit d'espérer dans un service courant. Les chiffres de rendement qui figurent dans mon traité, et en particulier ceux qui concernent le *Napoléon* et l'*Algésiras*, sont donc notablement au-dessous des puissances maxima : ils conduiront forcément les personnes qui en feraient usage pour la rédaction d'un projet à des prévisions qui seront largement dépassées lors des épreuves de recettes et toujours facilement réalisées en service courant; mais, par contre, ils cesseront de fournir des termes de comparaison convenables si l'on en fait usage pour les opposer à des résultats obtenus au maximum de rendement dans les épreuves de recette.

« Je serais heureux, monsieur le Président, si ces explications vous paraissaient mériter quelque intérêt, et si vous vouliez bien les porter à la connaissance de la Société à sa prochaine séance. »

M. MALLET demande à présenter, au nom de M. Normand et au sien, quelques observations au sujet de la lettre qui vient d'être lue.

Il ne peut avoir en principe rien à objecter à l'interprétation que M. de Frémin-

ville présente des valeurs et des chiffres contenus dans son ouvrage, il se bornera à exprimer le regret que l'honorable Sous-Directeur de l'École d'application du Génie maritime n'ait pas cru devoir donner le moindre aperçu sur l'importance de l'accroissement de force qui serait réalisé au taux maximum de puissance, d'autant plus que par les termes mêmes de la lettre, il n'apparaît pas que cette augmentation puisse être bien grande.

On a surtout contesté les chiffres du *Napoléon* et de l'*Algésiras*. M. Mallet ne peut que renvoyer aux explications données par M. Normand, dans la séance du 4 décembre, mais il tient à faire remarquer que les corrections quelles qu'elles puissent être se réfèrent seulement à une situation qui n'a plus désormais qu'un intérêt historique, et qui est d'ailleurs universellement reconnue comme ayant été brillante pour notre marine.

Les interprétations que M. de Fréminville donne de ses chiffres peuvent-elles atténuer en quelque chose l'infériorité signalée dans le rendement de puissance des machines de notre flotte cuirassée?

N'est-il pas bien établi, au contraire, que, tandis que les constructeurs anglais dépassaient de 50 p. 100 leurs précédents les plus favorables, la Marine impériale tombait au-dessous des résultats qui nous étaient acquis depuis dix ans?

On ne voudrait pas prétendre sans doute que des machines qui fournissent seulement 3,000 ou 3,200 chevaux au lieu des 3,800 chevaux annoncés aient été dans les épreuves menées au-dessous de leurs ressources, et que, si l'on n'a pas réalisé plus de puissance, c'est qu'on n'y tenait pas.

M. Mallet se bornera à ces courtes explications, se réservant de les développer au besoin quand la discussion reviendra devant la Société à l'une des prochaines séances.

M. Robert décrit, afin de le faire tomber immédiatement dans le domaine public, un système de signaux à distance pouvant remplacer sur une ligne en courbes ceux actuellement en usage, qui présentent dans ce cas des inconvénients graves.

Ces signaux, imaginés par M. Love, consistent : soit en un disque, soit en un rectangle fixés invariablement à un poteau et perpendiculairement à la voie.

Le disque est formé par quatre portions de surfaces hélicoïdales de même pas, de sorte qu'il y a, suivant deux diamètres en croix, quatre ouvertures rectangulaires donnant le passage aux ailes d'un autre disque mobile sur un axe et formé de la même façon:

Le premier disque fixe est peint en blanc, le second en rouge.

L'arbre sur lequel sont fixées les ailes mobiles reçoit le mouvement d'un balancier portant à une de ses extrémités l'attache du fil de la gare; à l'autre un contre-poids ramenant au rouge.

Ce mouvement des ailes est celui d'une vis de même pas que les surfaces hélicoïdales; on l'obtient soit avec une vis, soit en faisant dans l'arbre une rainure hélicoïdale dans laquelle on engage un doigt fixe, ou enfin cette rainure dans le manchon servant de palier.

Le signal rectangulaire se divise en plusieurs rectangles égaux oscillant chacun autour d'un axe horizontal passant par le centre de figure. La face du côté opposé à la gare est peinte en rouge, l'autre en blanc.

Si on fait tourner tous ces rectangles d'un quart de tour, le rouge regardant le ciel n'est plus visible pour le mécanicien et la voie est ouverte.

Comme construction ce disque se compose d'un cadre en fer cornière servant à fixer le support des axes de rotation et de rectangles en tôle rivés avec des pivots.

Chacun de ces volets porte un bras incliné à 45° sur le plan du signal, tous ces bras sont réunis à une tringle de connexion qui leur donne le mouvement.

Chacun de ces systèmes de signaux va être mis à l'essai.

M. Périssé fait remarquer que le changement de position du signal indiquant l'arrêt est très-utile surtout en temps de brouillard. M. Périssé n'entend parler que d'un brouillard léger permettant d'apercevoir la forme du signal, mais ne permettant pas d'en distinguer la couleur, et non de brouillards nécessitant l'emploi de signaux spéciaux.

M. le Président et M. Nordling ajoutent que l'emploi du nouveau signal oblige la mécanicien à se rendre compte des différences de couleur.

M. Périssé fait encore remarquer que dans certains cas les rayons du soleil se réfléchissant sur le disque ne permettent plus de distinguer autre chose que sa forme.

M. Périssé ajoute qu'il a construit un grand nombre de signaux et que toutes ses commandes portent sur certain nombre de signaux tournant à droite par les alignements droits et de signaux tournant à gauche pour les portions courbes. Cette construction permet de disposer toujours la partie rouge du disque du côté de la campagne lorsque le disque est effacé.

Une discussion s'engage entre plusieurs membres au sujet du règlement concernant les signaux dans les différents cahiers des charges.

M. Vuillemin fait observer que le règlement porte que le disque effacé indique la voie libre, on a donc en vue dans cette rédaction le déplacement du disque et du signal.

Il est ensuite donné communication de la Note suivante de M. Yvon-Villarceau, sur l'application de sa théorie des voûtes à l'établissement des ponts en fer :

Depuis quelques années déjà, l'emploi de la fonte se substitue avec succès à celui du fer, dans les ponts métalliques, autres que les ponts tubulaires et les ponts suspendus. La différence de prix du fer et de la fonte n'est pas le seul motif de cette substitution. En effet, si la fonte résiste aussi bien que le fer à la compression, il en est tout autrement à l'égard de la traction, et l'on sait que les ingénieurs comptent peu sur la résistance de la fonte soumise à des efforts de cette nature : alors ils préfèrent l'emploi du fer, qui leur permet de réaliser des sections beaucoup moindres que s'ils étaient obligés d'employer la fonte. On conçoit ainsi la possibilité, en faisant usage du fer, de réduire les dépenses de construction des ponts métalliques où le métal résiste à des efforts de traction. Mais, en supposant que l'on pût, de cette manière, réaliser une certaine économie, on aurait, par le fait même, opéré une réduction dans la masse de la construction : or cette réduction de la masse entraîne comme conséquence une diminution de la stabilité; car il importe hautement que la masse des véhicules et des surcharges accidentelles soit le plus faible possible par rapport à celle de la construction. Enfin la théorie des ponts en fer, où le métal résiste en certains points à la traction, en d'autres points à la compression, n'est pas encore faite, et les ingénieurs, obligés de recourir à l'expérience, évitent prudemment d'en étendre les conséquences à des constructions de dimensions autres que celles déjà expérimentées.

Les ponts en fonte n'offrent pas les mêmes inconvénients; ils peuvent être combinés de telle sorte que la matière n'ait à résister qu'à la compression, et le bas prix

de cette matière permet une moindre économie de la masse employée. Ces motifs nous paraissent expliquer suffisamment la préférence accordée de nos jours, à l'emploi de la fonte, dans la construction des ponts.

Essayons maintenant de faire comprendre comment notre théorie des voûtes peut s'appliquer à l'établissement des ponts en fonte.

Une arche de pont en fonte comprend trois parties distinctes : 1° la chaussée et le tablier ; 2° le système de châssis en fonte compris entre le tablier et l'extrados, équivalant au massif des ponts en pierre ; 3° la voûte ou le système de châssis analogues aux voussoirs des ponts en pierre, et qui jouent le rôle de ces derniers.

On remarquera tout d'abord que les châssis du système équivalant au massif ont la forme de prismes évidés, à axe vertical, terminés supérieurement par un plan horizontal et inférieurement par une surface courbe en contact avec l'extrados de la voûte. Ce système de prismes réalise d'autant plus exactement celui que nous avons considéré, page 34 de notre Mémoire sur l'établissement des arches de pont, que leurs dimensions parallèles à la voie sont plus restreintes : les objections que quelques personnes ont faites à la théorie des actions normales à l'extrados, dans les arches des ponts en pierre, ne sauraient s'appliquer ici ; en sorte que cette théorie s'applique plus exactement, si l'on veut, aux ponts en fonte qu'aux ponts en pierre.

Voici comment la transition de la théorie des ponts en pierre à celle des ponts en fonte pourra s'effectuer. Considérons l'un des prismes verticaux formant le massif et comparons son poids au volume de ce prisme supposé plein, nous en déduirons le poids de l'unité de volume ou la densité de ce prisme : la première condition à remplir est que le centre de gravité réel du prisme et celui du volume du prisme plein coïncident; la seconde est que tous les prismes aient la même densité dans toute l'étendue du massif. Ces deux conditions seront faciles à remplir : il suffira de déterminer la figure du vide intérieur en conséquence. Passons aux châssis formant les voussoirs : nous définirons leurs densités comme nous l'avons fait pour les autres prismes, et les mêmes conditions relativement à l'égalité des densités et à la position des centres de gravité se présenteront tout d'abord. Si l'on veut réaliser rigoureusement les conditions théoriques, il restera à pratiquer à l'intrados une réduction des surfaces de contact des voussoirs, sur la faible étendue qui sépare les intrados réel et fictif. (Voir page 11 du Mémoire [1].)

1. On pourrait réaliser les conditions théoriques, sans pratiquer le refouillement des joints, en donnant à la voûte une épaisseur constante e; ce qui rendrait l'extrados et l'intrados exactement parallèles. Pour cela, soit ϖ le poids de l'unité de volume des voussoirs, défini comme précédemment et ϖ' une densité variable selon la formule

$$\varpi' = \varpi\left(1 + \frac{1}{6}\frac{e}{\rho}\right),$$

où ρ désigne le rayon de courbure; on disposerait du vide des voussoirs, pour réaliser la densité ϖ' relativement à chacun d'eux, en fixant le centre de gravité au point assigné par la théorie, et le calcul des pressions s'effectuerait néanmoins en conservant dans les formules générales la quantité ϖ.

Dans ce cas, l'intrados réel se confondrait avec l'intrados fictif, dont il suffirait de considérer les coordonnées.

Il ne paraît pas toutefois que cette solution doive être préférée : il convient, en effet, de ne pas étendre les contacts des corps soumis à des pressions considérables, jusqu'aux limites des surfaces planes de contact; d'autre part, on est habitué à voir croître les épaisseurs des voûtes vers les naissances, et l'œil est généralement satisfait de l'aspect qui en résulte.

Il reste à examiner la question des pressions.

Dans toute l'étendue du massif supposé plein, les pressions sont égales à celle que produirait un liquide de densité égale à celle du massif, et dont la surface supérieure serait chargée d'un poids égal à celui du tablier et de la chaussée : par suite, les pressions exercées par le massif, sur les parois verticales qui le limitent, agissent horizontalement, et les pressions que reçoit l'extrados sont normales à sa surface. Pour passer de ces pressions, estimées dans l'hypothèse de surfaces continues, comme celles des prismes ou voussoirs en pierre, à celles qui répondent au cas des prismes ou voussoirs en fonte qui sont évidés, il suffit évidemment de multiplier les premières par le rapport des surfaces de contact du système plein avec les surfaces correspondantes du système évidé. Il est clair que dans les prismes ou voussoirs en fonte, on ne devra tenir compte que des surfaces de contact capables de transmettre efficacement les pressions. (Par exemple, on ne devrait avoir aucun égard aux surfaces qui appartiendraient à des traverses destinées uniquement à établir des liaisons dans le sens de l'axe de la voûte.) Les pressions ainsi obtenues ne devraient pas dépasser une limite assignée d'avance. Ajoutons que l'on aura toujours la possibilité de rendre constantes les pressions par unité de surface, dans toute l'étendue de la voûte, puisqu'on dispose, dans des limites assez larges, de l'étendue des surfaces de contact.

Dans les ponts en pierre, assujettis aux conditions de stabilité que nous avons posées, si l'on se donne l'ouverture des arches et les ordonnées du sommet de l'intrados et des naissances par rapport au plan horizontal qui limite la surcharge, on trouve que le profil de l'intrados est à peu près déterminé, indépendamment de l'épaisseur à la clef, et le fait est d'autant plus exact que les densités des matériaux de la surcharge et de la voûte approchent davantage d'être égales. La masse totale de la construction étant alors sensiblement constante, la stabilité croît plus que proportionnellement à l'épaisseur de la voûte; car elle serait proportionnelle à cette épaisseur, si la pression moyenne par unité de surface était constante, et cette pression moyenne diminue en raison inverse de l'épaisseur de la voûte. Au point de vue de la stabilité, il conviendrait donc d'augmenter l'épaisseur à la clef, jusqu'au point où il ne resterait au-dessus d'elle que l'épaisseur de surcharge strictement nécessaire. On ne le fait pas toujours, et cela se conçoit, car le prix du mètre cube de pierres taillées en voussoirs dépasse énormément celui des matériaux de remplissage.

Dans les ponts en fonte où une pareille disproportion n'existe pas, rien n'empêche de donner à la voûte toute l'épaisseur que les conditions d'un projet laissent disponible.

Le raisonnement précédent suppose que les surcharges accidentelles ont généralement pour effet d'augmenter les pressions dans les joints, en sorte que l'ingénieur ait intérêt à diminuer celles qui se développent en l'absence de ces surcharges. Quand on tient compte des chances de diminution des pressions, telles que celles qui résulteraient de légers mouvements du sol ou de l'affaissement des piles, on est conduit à ne pas trop réduire les pressions correspondantes à l'état normal de la voûte. Mais, si l'on observe que les surcharges accidentelles sont, pour les ponts en fonte, dans un plus grand rapport avec la masse totale de la construction que pour les ponts en pierre, on trouve dans cette circonstance un motif de réduction des charges normales pour les ponts en fonte. D'ailleurs, les liaisons établies entre les châssis par l'emploi des boulons, offrent, pour parer aux cas où les pressions accidentelles tomberaient en quelques points au-dessous de zéro, des avantages incompa-

rablement supérieurs à ceux qu'on pourrait espérer de la cohésion des mortiers dans les ouvrages en maçonnerie.

Enfin, ajoutons que si l'on peut, sans surcroît de dépenses, faire en sorte que les densités du massif et des voussoirs, entendues comme il a été dit plus haut, soient égales, on abrégera sensiblement les calculs à effectuer soit directement, soit au moyen de tables spéciales.

M. Desmousseaux de Givré donne ensuite communication de son travail intitulé : *Note sur les milieux isotropes, et sur les treillis isotropes. — Application au calcul des ponts et charpentes.*

Isotropie signifie d'abord uniquement constance et symétrie de l'élasticité dans toutes les directions. L'auteur rappelle, d'après un Mémoire qu'il a eu l'honneur de présenter à la Société en janvier 1864, que dans les milieux isotropes le fait *élémentaire* de tous les phénomènes élastiques consiste en une simple traction ou compression exercée normalement aux deux bases d'un prisme droit, lequel éprouvera par conséquent : 1° un allongement ou raccourcissement dans le sens de sa longueur ; 2° une contraction ou dilatation transversale.

Ainsi, dans les corps isotropes, deux effets, et partant deux coefficients de substance. — *Deux*, ni plus ni moins.

Voilà ce qu'on obtient rigoureusement par de simples considérations géométriques. Il y a donc sujet de se demander, si l'on ne peut arriver à certaines relations entre ces deux coefficients E et G, en formant quelque hypothèse sur l'action mutuelle des molécules. Et, en effet, si l'on admet simplement que cette action mutuelle de deux molécules est, comme celle des astres, constamment dirigée suivant la droite qui les unit, on arrive aux trois relations :

$$E = \frac{5}{2} G \text{ pour les milieux isotropes,}$$

$$E = \frac{8}{3} G \text{ pour les plans matériels isotropes,}$$

$$2G < E < \frac{8}{3} G \text{ pour les milieux qui sont isotropes parallèlement}$$

à un certain plan.

« La première de ces relations est connue depuis longtemps[1] ; la démonstration qui nous servira à l'établir pourrait donc n'être pas neuve; mais on nous permettra de la donner, parce qu'elle implique une analyse nécessaire de la question. »

Sans rapporter les démonstrations tout élémentaires mais nécessairement compliquées de ces trois théorèmes, l'auteur se borne à faire observer que rien n'empêche de supposer que les actions mutuelles développées entre chaque couple de molécules m' m'' ne soient exercées par des bielles d'élasticité $\frac{1}{\omega}$, librement articu-

1. Je ne fais point, en ce moment, allusion à la démonstration donnée par Poisson (*Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*; *Mém. Acad. des sciences*, t. 8), et repoussée comme inadmissible par M. Lamé (*Leçons sur la théorie math. de l'élasticité*, § 20, etc.); mais à une autre démonstration annoncée en 1861 (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 1, p. 1107), par M. de Saint-Venant, qui malheureusement n'en fait aucunement connaître ni l'auteur, ni la nature.

lées à leurs extrémités m' m''. Dès lors, tous les raisonnements établis pour des milieux composés de points matériels agissant réciproquement les uns sur les autres, peuvent s'appliquer à des tissus formés de bielles articulées; et, par exemple, aux tissus réguliers formés par la juxtaposition d'éléments infiniment petits : cubes, parallélipipèdes, triangles, rectangles, carrés, etc.

On trouve ainsi que les conditions nécessaires et suffisantes de l'isotropie se réduisent : 1° Dans le tissu *triangulaire*, à l'égalité de longueur des trois côtés, et à l'égalité de rigidité des trois bielles; — 2° dans le tissu *rectangulaire*, à une relation fort simple, et qui retombe au cas du tissu triangulaire quand le rapport de longueur des deux côtés est $\sqrt{3}$; — 3° Dans le tissu *carré*, à l'égalité de poids de chaque bielle diagonale et latérale (supposées formées de la même substance); — 4° Dans le tissu *cubique*, et lorsqu'on supprime les diagonales intérieures, à ce que les diagonales latérales aient un poids double de celui des bielles latérales.

On peut donc, dans la détermination d'une poutre, d'un pont ou d'une charpente, calculer une âme fictive pleine, ou un solide continu fictif, pour leur substituer ensuite quelqu'un de ces tissus. Et cela est d'autant plus facile, qu'il existe pour chacun de ces treillis isotropes, des relations très-simples entre le poids de la bielle latérale, le poids de l'élément, le coefficient d'élasticité du milieu, et le coefficient d'élasticité de traction supposé commun à toutes les bielles. — C'est ce que l'auteur démontre par diverses applications numériques.

Afin de faciliter encore plus la résolution de ces problèmes, on présente un tableau de formules d'un usage très-simple et très-rapide, et que l'on peut même convertir en *tables numériques*, de sorte que *tout calcul* est absolument supprimé.

Toutefois, comme toutes les opérations de la mécanique industrielle, la substitution des treillis isotropes aux poutres ou milieux continus, comportera nécessairement certaines corrections; et d'abord : une correction relative à la grandeur des mailles, et une autre à la flexion des bielles.

M. Desmousseaux de Givré énonce ensuite diverses propositions, et notamment celles-ci :

1° En transportant des bielles convenablement, parallèlement à elles-mêmes, on peut faire dériver de chaque treillis isotrope toute une famille de treillis également isotropes;

2° En superposant ou combinant divers treillis isotropes, on obtient encore des treillis isotropes;

3° Le poids des treillis isotropes est respectivement *triple* et *sextuple* de celui des milieux continus isotropes à deux et trois dimensions, composés de la même substance.

Un fait capital, au double point de vue de la mécanique industrielle et de la physique, est que l'*isotropie*, entendue comme expression de la constance et de la symétrie de l'élasticité dans toutes les directions, n'entraîne pas du tout la constance de la puissance élastique dans toutes les directions. On entre à cet égard dans quelques réflexions sur les opinions de Poisson et de M. Wertheim, relativement aux coefficients d'élasticité.

Après avoir montré que tous les calculs et tous les résultats précédents peuvent se contrôler directement par une seconde méthode, encore plus élémentaire que celle annoncée jusqu'à présent, l'auteur compare les solutions contenues dans ce mémoire,

à celles qu'il a données sur le même sujet en 1865, et qui conduisaient à des treillis curvilignes à mailles orthogonales, où les diagonales n'existent pas (sauf par le fait des corrections), et qui ne pèsent respectivement que le double et le triple des milieux continus correspondants à deux et à trois dimensions. Mais ces treillis ne sauraient guère être préférés que dans le cas d'une *charge-morte*, attendu que toute variation de charge nécessite alors un changement de tracé.

D'après ces deux solutions, le rapport des âmes pleines aux âmes en treillis est respectivement $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{2}$. Ce sont précisément les chiffres auxquels l'expérience avait conduit M. Dallot.

En voyant la légèreté relative des milieux continus, il ne faudrait pas se hâter de conclure à une trop grande infériorité de treillis; car, si cette infériorité est réelle en certains cas, cependant l'augmentation de poids doit être compensée fort souvent par une élévation notable de la limite d'élasticité.

Quoi qu'il en soit, les treillis possèdent toujours une *propriété* spécifique, et inestimable pour les constructeurs : c'est de former, avec tous les bois ou métaux, des milieux d'élasticité arbitraire, et surtout de *densité arbitraire*, aussi faible qu'on voudra ; aussi, quand bien même ces milieux artificiels seraient très-inférieurs aux solides de la nature, sous le rapport de la *résistance vive élastique de l'unité de masse*, ils peuvent et pourront *seuls* se prêter à ces dimensions colossales que nous donnons à nos édifices, et qu'il sera sans doute permis d'augmenter encore. Et voilà pourquoi, sans reprendre à fond le calcul des ponts et charpentes, nous avons cru intéressant d'y apporter un élément et un procédé nouveau.

Et cependant, nous n'avons fait qu'*effleurer* dans ce travail un vaste et profond sujet, et former comme une introduction à un chapitre nouveau de la mécanique : non pas de la mécanique *physique*, c'est-à-dire *semi-rationnelle*, mais de la mécanique *purement rationnelle*.

Il ne faudrait pas analyser seulement les déformations lentes, mais aussi les mouvements vibratoires.

Pour l'ingénieur, il serait utile de passer de la considération des panneaux infiniment petits à la considération des *panneaux finis*, isotropes on hétérotropes, afin de pouvoir mieux appliquer l'analyse au mode le plus récent et le plus goûté de constructions en fer.

Pour le physicien, pour celui qui cherche à découvrir la loi des actions moléculaires, ou à fonder enfin la base rationnelle et mathématique de la chimie, il faudrait aborder l'étude générale des tissus, ou des milieux, réguliers ou irréguliers, cristallisés ou amorphes; et ainsi l'on pourrait sans doute pénétrer *un peu* davantage en la connaissance de ce profond et insondable mystère qu'on appelle l'*atome*.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Desmousseaux de Givré de son intéressante communication, et fait part que M. Nadault de Buffon, ingénieur en chef, a fait hommage à la Société d'un exemplaire de son ouvrage intitulé *Submersions fertilisantes comprenant les travaux de colmatage, limonage, irrigations d'hiver*. Cet ouvrage est renvoyé à M. Achille Le Cler qui veut bien se charger d'en rendre compte.

Séance du 5 Février 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

M. Eugène Flachat demande la parole sur le procès-verbal, pour dire qu'il a reçu de MM. Ferdinand Mathias et Ch. Callon une lettre par laquelle ces messieurs signalent à son attention l'ouvrage qu'ils ont publié, en 1846, sur *la Navigation fluviale par la vapeur*. Ils ont traité dans cet ouvrage de la plupart des améliorations des machines-marines dont il a été question lors de la communication de MM. Normand et Mallet. M. Flachat a, en effet, relu ce livre dont il avait perdu le souvenir. Il en cite un passage qui démontre qu'à cette époque ses auteurs ont parfaitement prévu les changements radicaux que la substitution de l'hélice aux roues devait apporter dans la machine-marine. Les enveloppes de vapeur, le condenseur à surface et, à la suite, la supériorité de la haute pression, avec emploi de forte détente ; en un mot, les dispositions des appareils les plus perfectionnés aujourd'hui sont prévues et décrites dans ce livre avec une sûreté de jugement qui fait le plus grand honneur à ces deux ingénieurs.

Sur les points si obscurs il y a vingt-deux ans, si bien établis aujourd'hui, le livre semble écrit d'hier. Il est d'autant plus juste et opportun de rendre à ces messieurs l'hommage qui leur est dû, que cela ne nuit en aucune manière au mérite de ceux qui, plus tard, ont pris une part active et directe dans la réalisation des améliorations qui ont été l'objet de la communication de MM. Normand et Mallet.

M. Mallet fait remarquer que la discussion sur la communication de MM. Normand et Mallet n'est pas épuisée. Il espère qu'elle reprendra dans une des prochaines séances, et il ajoute que M. Callon ayant manifesté l'intention de prendre part à la discussion, MM. Normand et Mallet n'attendaient que ce moment pour reconnaître les titres de MM. Ferdinand Mathias et Ch. Callon.

Le procès-verbal de la séance du 22 janvier est adopté.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Eugène Flachat sur le projet de loi relatif à l'enseignement technique.

M. E. Flachat demande que cette communication prenne le caractère d'une simple conversation.

Nous savons tous, dit-il, que ce projet de loi qui va être discuté par le Corps législatif est du plus haut intérêt ; les élaborations dont il est le résultat datent de plusieurs années, et elles ne peuvent être sommairement reproduites qu'au risque d'en affaiblir la valeur. M. Flachat dépose sur le bureau et recommande l'étude des importants documents dont la plus grande partie est due à l'ardent et infatigable concours de MM. Arthur Morin et Tresca. Après en avoir indiqué le but et la composition générale, il se propose d'exposer quelques vues qui lui paraissent donner au vote du projet de loi une opportunité de jour en jour plus grande.

La Société des Ingénieurs civils se compose d'hommes qui, vivant ou ayant vécu au milieu des classes ouvrières, connaissent le bien et le mal, le juste et l'injuste des aspirations de celles-ci; qui savent comment le travail est organisé dans les ateliers; pourquoi telle catégorie d'ouvriers prospère et pourquoi telle autre souffre. On sait ici tout ce qui se passe dans les diverses régions du travail, et nous sommes tous d'accord qu'il faut, maintenant plus que jamais, rendre l'accès au travail facile à l'adulte; il faut ouvrir à l'ouvrier les horizons dus au mérite moral en même temps qu'à l'aptitude manuelle; en un mot, il faut lui donner les moyens d'acquérir une profession, d'en présenter un témoignage incontestable, une affirmation accueillie par tous avec confiance. Il faut faire pour toutes les catégories des travailleurs ce que fait la société pour certaines classes spéciales dans les lettres, la science et les arts, au moyen du baccalauréat, de l'agrégation, du doctorat, du diplôme des écoles de droit, de médecine, des ingénieurs et de tant d'autres, y compris celles des arts et métiers, qui gratifient leurs élèves d'un titre qui est pour eux le certificat d'aptitude au travail partout où ils se présentent.

Le besoin de cette affirmation de la possession des notions théoriques et pratiques de son état est d'autant plus nécessaire pour l'artisan que le travail est pour lui plus mobile, plus précaire, plus difficile à trouver; chaque changement d'atelier est une crise pour l'ouvrier. Il est accueilli avec hésitation par le contre-maître, avec défiance même s'il affirme qu'il sait; il est, dans tous les cas, soumis à l'essai, et si dès les premiers jours il n'a pas eu la chance de prouver sa capacité, il voit s'affaiblir le taux du salaire qu'il avait gagné ailleurs; ce mécompte amène alors le sentiment de l'injustice; il préfère quitter l'atelier où il n'a pas été apprécié à sa valeur et demander justice aux prud'hommes. Dans ce cas, cet atelier est désormais fermé pour lui.

Si, au contraire, cet ouvrier est un élève des écoles des arts et métiers, et si l'ouvrage est disponible, il est accueilli; son salaire ne sera l'objet d'aucune discussion. Son certificat d'aptitude lui ouvre la porte. Voyez où, du rang de simple ouvrier, mais ouvrier instruit, sont parvenus les élèves de ces écoles; quelle preuve flagrante de la valeur d'un témoignage affirmatif qu'ils savent: comme la carrière du travail est pour eux facile et sûre. Bon nombre d'entre eux sont, parmi nous, arrivés aux plus hauts degrés de notre profession; qu'ils nous disent comment ils ont commencé.

Le besoin d'un certificat d'aptitude est donc incontestable. Le droit de l'obtenir par l'étude ne l'est pas moins. Il faut que tous puissent étudier et il faut que tous puissent obtenir la preuve qu'ils possèdent les notions théoriques et pratiques de l'état qu'ils ont embrassé. Il faut que cette preuve soit incontestable comme les divers diplômes qui consacrent tant de carrières dans la science, les arts et l'industrie.

Après le besoin et le droit faut-il examiner les moyens? Quant à l'enseignement des notions théoriques, ils ne manquent pas, ils abondent même. Cet enseignement peut et doit se trouver partout, sur tous les points du territoire, soit par des conférences, des cours, des classes, des écoles, et nous verrons tout à l'heure que les professeurs sont partout où il y a une industrie. L'enseignement doit être donné par tous les moyens, et à l'adulte surtout, car c'est pour lui que le besoin est le plus immédiat. On ne doit pas s'arrêter pour enseigner la géométrie, le dessin, les procédés théoriques du travail, au manque de notions élémentaires, telles que la lecture et l'écriture. Qui de nous ne connaît des charpentiers, des ajusteurs, des tailleurs de pierre qui ne lisent qu'avec une peine infinie et qui ont acquis toutes les notions de géo-

métrie et de dessin qui leur sont nécessaires non-seulement pour travailler, mais pour commander et enseigner leurs camarades.

Quant à l'enseignement pratique, il est assurément plus difficile à donner; mais l'étude des moyens déjà expérimentés en Angleterre, en Allemagne et en France, et décrite dans les rapports du général Morin, fait reconnaître que la tâche, loin d'être au-dessus des forces de la Société, sera entreprise par elle avec la conviction et le courage qui sont le gage du succès.

Reste l'affirmation de l'instruction : le certificat d'aptitude auquel il importe de donner un caractère d'une sincérité incontestable. Cela est bien facile. Ce sera l'œuvre d'une réunion de professeurs, de jurés, de fonctionnaires choisis dans les corps savants, et organisée dans ce but comme le sont les Commissions de tout genre auxquelles le Gouvernement donne son attache en puisant dans l'industrie la plupart des éléments de sa composition.

Ce que l'on fera ainsi n'est autre chose qu'un acte de patronage. Là où le patronage individuel devient impuissant par le développement même du travail, il faut qu'il se retrouve dans les institutions.

Si les classes ouvrières sont aujourd'hui mieux organisées, mieux associées pour les secours mutuels et pour l'épargne, c'est parce que le patronage a agi sur elles dans ce sens; mais isolées du patronage, elles sont d'une manière occulte plus organisées qu'autrefois dans la voie des erreurs économiques; elles se croient un droit à l'emploi du capital autre que celui de leur épargne et au partage exclusif du bénéfice. Elles nient le droit de chacun d'employer son épargne comme il l'entend; c'est à elles, par privilége, que le crédit doit procurer des moyens de s'enrichir par le travail.

Elles font dominer ce principe que le salaire d'une profession doit être égal entre tous ceux qui l'exercent, quelles que soient l'instruction et l'ignorance.

Le travail à la tâche s'est accru et a produit une quantité d'ouvrage supérieure à celle qu'on obtenait du même nombre d'ouvriers. Par cela même, le salaire des ouvriers à la tâche a augmenté dans la proportion de 1 à 1.60; mais le travail à la journée s'est, sous l'influence des idées fausses, considérablement amoindri, et tandis que le salaire journalier s'est élevé dans la proportion de 4 à 5, le travail produit a diminué du tiers environ.

Les crises du travail à attendre de l'organisation aveugle du nombre contre le droit sont le problème le plus sérieux du jour, et il n'y a pas d'autre moyen de conjurer ce danger que celui de l'instruction technique; elle seule peut conduire à satisfaire des aspirations qui sont et qui resteront dans la nature humaine, mais à les satisfaire sans appel à la violence, ni d'un côté pour obtenir, ni de l'autre pour résister.

M. Flachat entre dans des détails sur l'organisation du travail dans les ateliers.

Les moyens d'existence de l'artisan et de l'ouvrier doivent être en raison de son instruction, de son intelligence, de sa force et de son activité. La force s'éteint par l'âge; l'activité se réduit à mesure de l'extinction des forces; l'intelligence reste; l'instruction seule peut toujours s'accroître et, aidée de l'intelligence, elle peut compenser la perte de force et d'activité. Ces quatre facultés ont leur fruit dans le salaire. Celui qui les possède gagne plus, individuellement, que celui qui ne les possède pas ou qui les possède moins; de là pour lui l'intérêt au travail individuel, à la tâche individuelle et au salaire proportionné au produit en travail. Mais le nombre des ouvriers qui ne possèdent pas ces facultés au même degré lutte contre le droit

de celui qui les possède. De là l'entreprise par équipe qui s'impose contre l'entreprise individuelle. Dans l'entreprise par équipe composée de professions diverses, comme dans la peinture, la menuiserie, la charpenterie, etc., l'ouvrier de chaque profession est payé le même prix, et tous partagent, au prorata du salaire et du temps, le bénéfice obtenu. Il advient, au bout de peu de temps, que la concurrence cesse entre les équipes qui s'entendent, entre les ouvriers qui s'aperçoivent que l'actif travaille pour le paresseux, l'instruit pour l'ignorant, le fort pour le faible, l'intelligent pour celui qui ne l'est pas. On reconnaît que cette organisation est inefficace à réduire le prix du travail en élevant le salaire, elle ne fonctionne plus et il faut revenir à la concurrence individuelle. La lutte est donc ainsi incessante entre les ouvriers entre eux comme entre le patron et les ouvriers, et grâce à l'ignorance c'est le *nombre* qui fait la loi. Il faut sortir de cette situation, non par des lois et des règles, mais par l'accroissement des ressources de l'ouvrier, et cet accroissement ne peut être obtenu qu'à l'aide de l'instruction. L'enseignement technique est donc le seul, le vrai remède.

Le projet de loi est, à raison de ces faits, de ces droits, de ces besoins, dans toutes les idées. Il est impérieusement nécessaire qu'il passe dans les institutions. Il est un des étages les plus essentiels de la liberté d'enseignement. Il en remplit la condition naturelle, à savoir : que tous ceux qui sont aptes à enseigner la science, et qui trouvent leur intérêt à le faire, le puissent : que tous ceux qui ont besoin d'apprendre trouvent partout autour d'eux les moyens de s'instruire, dans les conditions les plus accessibles à chacun.

On ne peut pas dire que le projet de loi prend la Société par surprise. — Voici le résumé de la préparation qu'il a subi :

En juin 1863. Rapport de M. Rouher, sur les écoles professionnelles.

En décembre 1863. Enquête et dépositions, 1 gros volume de 800 pages.

En juin 1864. Rapport du général Morin. — Écoles françaises et étrangères. 1 volume de 600 pages.

En juin 1865. Rapport du général Morin. — Commission de l'enseignement technique, avec projet de loi. 1 volume de 300 pages.

Le 14 février 1867. Présentation du projet de loi au Corps législatif.

Le 27 juillet 1868. Rapport de la Commission du Corps législatif.

Les Commissions auxquelles il faut attribuer l'honneur des travaux qui ont eu pour résultat le projet de loi actuel sont composées de plusieurs éléments : des hommes placés au sommet du Gouvernement, de l'Administration publique et de l'Industrie, des économistes. Il y avait là des lumières et peu d'initiative pratique, mais à côté d'eux étaient deux hommes qui ont assumé la plus grande part, sinon la totalité du travail d'élaboration. C'étaient ceux dont la vie a été mêlée aux classes ouvrières par les questions d'enseignement, MM. Morin et Tresca.

Il n'a manqué à ces Commissions qu'un seul courage, celui de faire voir le mal croissant de l'ignorance à mesure qu'un plus grand nombre prend part au travail ; de faire toucher du doigt l'urgence du besoin d'instruction, et c'est à cette faiblesse qu'il faut attribuer les conclusions de la Commission législative, conclusions qui, tout en voulant atteindre le but, aboutissent à une négation réelle d'une des plus impérieuses nécessités qui pèsent sur les classes intéressées à rendre facile l'accès au travail.

M. Flachat passe ensuite à l'examen des ressources que présente le ministère des travaux publics, pour l'enseignement technique.

Les écoles et leurs ressources budgétaires sont les suivantes :

DÉSIGNATION DES ÉCOLES.	NOMBRE.	BUDGET.
Écoles vétérinaires	3	656.500
Écoles d'agriculture	3	561.600
Conservatoire des arts et métiers	1	290.000
Écoles d'arts et métiers	3	1.402.700
École des ponts et chaussées	1	71.800
École des mines	1	83.200
École des mineurs de Saint-Étienne	1	16.700
École des maîtres mineurs d'Alais	1	5.600
École centrale des arts et manufactures	1	489.000
Subvention à l'École d'horlogerie de Cluses et autres Écoles techniques	1	170.000
Total	16	3.247.100

Toutes ces écoles, à l'exception de celle du Conservatoire des arts et métiers, donnent des diplômes ou des certificats d'aptitude qui font une profession à l'élève qui les a obtenus, et si on compare le prix de revient de ces diplômes, on peut juger le degré d'importance qui s'y attache.

L'École des mines passe en première ligne; la tête de la science est là. L'enseignement y est confié à 17 professeurs, dont 13 inspecteurs généraux ou ingénieurs en chef des mines sont des membres de l'Institut ou sur ses marches : MM. Combes, Élie de Beaumont, Callon, Rivot, Gruner, Daubrée, Couche, Delesse, Lamé-Fleury, etc. Ces professeurs ne sont pas portés au budget de l'École (83,200 fr.), qui ne comprend que les professeurs étrangers au corps des mines, les préparateurs de chimie, les bibliothécaires, etc. Si on suppose un traitement de 6,000 fr. aux 13 professeurs officiels et que l'on attribue la valeur la plus modeste aux logements que donne gratuitement l'École, on arrive à un chiffre total de 183,200 fr., et comme il en sort chaque année 3 élèves, cela fait 61,000 fr. pour prix de revient de l'enseignement d'un ingénieur des mines.

Cette École est l'une des gloires de la France, et ses fastes sont écrits dans les plus belles découvertes des temps modernes; il n'est presque pas un des progrès de l'esprit humain, par la science, auquel ses élèves ne soient associés par la création ou les développements. 150 de ces élèves composent aujourd'hui le corps des mines, et cent vingt d'entre eux sont propres au plus haut enseignement technique qu'il soit possible d'atteindre.

Déjà cette École admet une vingtaine d'externes, et elle s'est adjoint pour les préparer des professeurs tirés du Corps des Mines même. Que de services à attendre, au delà de ce faible tribut à l'industrie, de ce grand établissement et des savants qu'il a formés. Aucun n'a oublié la libéralité dont il a été l'objet, et tous, fidèles à la science qu'ils ont reçue, lui consacrent exclusivement une carrière trop modestement rétribuée. Le pays y gagne beaucoup; il peut y gagner bien davantage.

Il en peut être de même de l'École des ponts et chaussées, dont il sort environ 18 élèves par an, et dont les cours sont professés par 16 ingénieurs du Corps, choisis parmi les plus savants, et par un certain nombre de professeurs étrangers. Le même calcul que celui que nous avons fait pour l'École des mines conduit à une

dépense de 180,000 fr., donnant pour prix de revient de l'enseignement d'un élève 10,000 fr.

On sait la hauteur de ces études. 830 de ces élèves sont aujourd'hui répartis sur le sol français ; savoir : 715 dans les services publics, 115 dans l'industrie.

Le Corps des Mines et le Corps des Ponts et Chaussées disposent, en outre, de 4,424 agents, sous-ingénieurs, conducteurs principaux, conducteurs de cinq classes et de gardes-mines, parmi lesquels 790 sont aptes à enseigner les théories scientifiques les plus usuelles parmi celles qui sont la base des professions ouvrières. Nous avons donc là 1,590 professeurs d'enseignement technique, dont la moitié sort des deux plus hautes écoles scientifiques du monde. Ajoutons que ces 1,590 agents, tous engagés dans les services publics, n'y trouvent qu'un aliment tout à fait insuffisant à leur activité, et que la pénurie du budget en fait de travaux publics réduit de plus en plus leur utilité. Il y a donc là une force considérable à employer au profit de l'enseignement technique.

Je ne parlerai qu'en passant de l'École Centrale des Arts et Manufactures, et pour dire que l'enseignement qui y est donné par des professeurs choisis par elle-même, soit parmi ses propres élèves, soit dans les Corps des Ponts et Chaussées et des Mines, s'élève progressivement et forme, sans sacrifice pour le Gouvernement, 150 élèves environ chaque année, dont, au dire de l'*Exposé de la Situation de l'Empire* de cette année, « le brevet d'ingénieur apporte avec lui des conditions de plus en plus sérieuses de capacité. »

C'est encore là une riche somme de forces pour l'enseignement technique.

Quant au Conservatoire des arts et métiers, ses 21 professeurs y distribuent un enseignement dont la valeur est incontestable, mais qui, faute d'un auditoire immédiatement intéressé, ne porte pas tous les fruits à en attendre. L'intention de s'adresser à l'adulte est son caractère le plus éminent, le plus respectable, et il serait le plus fécond s'il prenait sa racine dans la formation et dans la sanction d'une profession, dans l'intérêt, du moins, d'y obtenir ce certificat de capacité qui est la première condition d'une profession.

Le nombre des auditeurs du Conservatoire prouve la valeur de l'idée première ; l'inconsistance de l'auditoire se révèle par l'irrégularité de l'affluence. Que le Conservatoire devienne une faculté technique ; que cette faculté joigne à ses cours de véritables classes ; qu'à la suite d'examens sévères elle délivre des certificats des notions acquises, et en peu de temps son enseignement s'étendra, de la hauteur des généralités, aux notions spéciales. Cette grande institution se placera alors à la tête de l'enseignement technique de la majeure partie des professions de l'ouvrier et de l'artisan.

M. Flachat termine par la lecture du projet de loi, et tout en rappelant que le concours du ministère de l'Instruction publique est indispensable pour préparer la jeunesse par des notions élémentaires à l'instruction technique, il signale les heureux résultats à attendre de la liberté d'enseignement que ce projet institue. Il insiste pour que le concours du ministère des Travaux publics soit préféré à celui de l'Université, parce que les moyens de répandre l'enseignement technique, les instruments de cet enseignement, les professeurs, en un mot, sont dans sa main ; parce que ce ministère est, par toutes ses attributions, plus près de la classe ouvrière, qu'il la connaît mieux.

Quant à l'objection qui tendrait à désintéresser le Gouvernement de l'enseignement technique, et à laisser l'individu faire ce qu'il entend, ce qu'il veut, lutter seul

et sans appui dans la recherche du travail, il voit là une confusion de mots plutôt que l'expression d'un principe. Que l'individu doive rester libre d'acquérir ou de négliger l'instruction technique dès qu'il cesse d'être sous l'autorité paternelle, cela n'est pas contestable. Mais que, s'il veut l'acquérir, les forces sociales disponibles dans ce but ne lui en facilitent pas les moyens : voilà la question, et posée dans ces termes elle est résolue ; il n'y a que des intérêts engagés dans cette discussion, et dans ce cas le principe du concours facultatif est incontestable.

Venir dire ici, dans cette enceinte, que, lorsque la société a mis à la disposition du Gouvernement des forces, des moyens tels qu'il n'est pas une sanction de l'instruction dont il n'ait une part officielle, le concours de ces forces doit être repoussé, c'est la même idée que celle de repousser l'association parce qu'elle concentre l'action et la met entre les mains de quelques-uns dans l'intérêt de tous ; c'est prétendre qu'une société peut vivre sans organisation, sans Gouvernement.

Plusieurs, beaucoup d'entre nous ont lutté toute leur vie contre l'esprit administratif qui excluait l'industrie privée de tous les travaux nécessaires à l'intérêt public, et le jour du plus grand développement de la plus importante des industries, celle du transport des hommes et des choses, est celui où cet exclusivisme a cessé. Au contraire, le concours de l'industrie privée et de l'État a produit les plus fécondes révolutions dans notre état social ; loin de le repousser à propos de l'instruction technique, demandons à l'État de s'associer à tous les efforts privés, à tous les efforts de l'association pour arriver à répandre l'instruction technique, parce que c'est le besoin le plus immédiat, le plus urgent des classes qui attendent du travail leurs moyens d'existence.

M. le Président, avant de donner la parole à M. Stéphane Mony, croit devoir répondre un mot au sujet de ce qui a été avancé concernant l'enseignement du Conservatoire impérial des arts et métiers. Cette institution répand l'instruction de deux manières : 14 cours de l'enseignement supérieur des sciences appliquées sont publics, à l'instar de ceux de la Sorbonne et du Collége de France, et répondent à un besoin analogue dans leur direction. Ce qui le prouve, c'est le nombre croissant de leurs auditeurs, qui atteint de 4 à 500,000 chaque année. Quant à la valeur et à la réputation de cet enseignement, la présence constante de professeurs étrangers de la plupart des grands centres manufacturiers de l'Europe, qui se rendent à Paris dans ce but, montre à quel degré les hommes les plus compétents apprécient le seul enseignement français ayant pour but l'ensemble des sciences appliquées aux arts.

Quant aux leçons données aux jeunes gens dans l'école de jour annexée au Conservatoire, à laquelle sont attachés des professeurs spéciaux, le Président, pour prouver les résultats qu'elle produit, dit qu'on pourrait citer plus d'une illustration et beaucoup d'hommes qui se sont acquis d'honorables positions dans l'industrie après avoir reçu l'instruction dans cette utile institution, qui d'ailleurs est encore perfectible, aussi bien que tous les autres établissements de ce genre.

M. Mony demande à présenter quelques observations sur le projet de loi, et à formuler les deux questions sur lesquelles il désire consulter la Société.

Il commence par indiquer l'état de la question.

Un projet de loi sur l'enseignement technique, déposé depuis déjà longtemps, a été l'objet d'un rapport présenté au nom de la Commission nommée pour l'examiner.

Il regrette que la Commission conclue au rejet du projet de loi présenté par le

Gouvernement, en accordant une subvention que le Gouvernement ne demandait pas.

Il ne trouve pas dans le rapport des motifs suffisants pour amener la Commission, composée d'hommes éclairés, appartenant à tous les partis de la Chambre, à rejeter le projet de loi proposé.

Il se demande si la cause de ce rejet est dans la rédaction du projet de loi même. Cependant ce projet ne contient rien d'agressif ni de suppressif. Ses dispositions lui paraissent libérales, nécessaires, et cependant on le rejette; parce qu'il y a un petit nombre d'établissements techniques établis, on se déclare satisfait.

M. Mony fait remarquer que l'enquête a révélé des faits qui nécessitent une réglementation autre que celle qui régit maintenant sans distinction tous les établissements d'instruction dépendant du Ministre de l'instruction publique.

Il cite les établissements de Guebwiller, qui sont restés six ans sans pouvoir obtenir l'autorisation ministérielle, et il ajoute que ce n'est qu'après de longues démarches que le fondateur, M. Boucart, a été autorisé à continuer ses cours, sans pouvoir toutefois y attacher son nom.

M. Mony désire connaître l'opinion de la Société sur ce projet de loi, et prie M. le Président de vouloir bien porter la discussion sur les deux questions suivantes :

1° S'il est vrai que l'enseignement technique n'existe pas, la Société croit-elle qu'il est nécessaire de pourvoir à son organisation?

2° Les établissements d'enseignement technique doivent-ils dépendre du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, ou du ministère de l'instruction publique?

M. Mony ajoute que la Commission s'est prononcée, à une faible majorité, il est vrai, pour le ministère des travaux publics.

Il fait remarquer que déjà toutes les écoles et institutions dont a parlé M. Flachat dépendent de ce ministère.

Il ajoute qu'on doit laisser à l'Université toutes les études littéraires, mais qu'elle n'est pas organisée pour l'enseignement scientifique.

L'enseignement technique doit, d'après M. Mony, entrer dans les attributions du ministère des travaux publics.

M. le Président donne la parole à M. Dallot.

M. Dallot a examiné avec soin le projet de loi et les divers documents qui s'y rattachent. Il a recueilli dans cette étude des impressions qu'il désire communiquer à la Société.

L'exposé des motifs témoigne, suivant lui, que les auteurs du projet de loi n'ont sur la question que des idées vagues, et que le côté pratique leur en a échappé complétement. Certes, ils sont animés d'*intentions* libérales. On leur a dit qu'il y avait à édifier sur le terrain de l'enseignement technique, et ils ont mis une certaine bonne volonté au service du progrès qu'on leur signalait. Malheureusement l'administration a traduit cette pensée à sa manière habituelle, c'est-à-dire qu'elle a réglementé, lorsqu'au contraire sa mission était d'ouvrir à l'initiative privée un champ déblayé de tout obstacle.

Il serait injuste de dire que le projet de loi est positivement illibéral. Chacune de ses dispositions peut se justifier au point de vue de la doctrine administrative qui se méfie de l'individu et ne croit pas pouvoir l'abandonner sans danger à son initiative.

Mais une objection vraiment grave qui peut être faite au projet, c'est qu'il passe à côté de la question, qu'il n'en avance point la solution d'un seul pas, et que sur un emplacement actuellement libre au point de vue législatif il élève des barrières.

C'est ce qu'a pensé la Commission. Son rapport révèle une connaissance approfondie des besoins industriels, et de ce qui existe déjà en vue d'y pourvoir. Loin de se déclarer satisfaite du *statu quo*, la Commission proclame la nécessité d'une marche immédiate et rapide dans la voie de la diffusion de l'instruction technique parmi les classes ouvrières. Elle indique la route à suivre. Elle aborde les moyens pratiques de réalisation. On trouve dans son rapport l'idée que M. Flachat développait tout à l'heure avec tant d'élévation, de donner une sanction aux connaissances professionnelles acquises par les ouvriers.

« *Nous n'avons pas l'intention*, lit-on à la page 27, *d'imposer aux élèves de l'en-* « *seignement technique des examens obligatoires. Mais on est généralement d'avis* « *qu'il serait bon, dans leur intérêt même, d'instituer des examens facultatifs aux-* « *quels se présenteraient certainement les plus capables et les plus zélés. Ils rece-* « *vraient un certificat, une sorte de diplôme. Ce titre ne serait pas sans valeur :* « *il les suivrait et les protégerait partout. Plusieurs écoles techniques ont déjà* « *compris l'importance d'une pareille sanction et décernent, chaque année, des* « *brevets.* »

Ainsi il est amplement démontré que la Commission, loin d'être hostile aux bonnes intentions du Gouvernement, les partage et en saisit mieux que lui la portée. Mais quant au projet de loi elle en nie l'intérêt. Elle n'ignore pas, elle signale elle-même que l'Administration, dans quelques cas particuliers, a abusé des stipulations de la loi du 15 mars 1850. Mais pour elle l'usage de cette loi contre les écoles techniques est un excès de pouvoir. Suivant elle, « *l'enseignement technique proprement dit* « *est, par le droit commun lui-même, dispensé de tout brevet, et d'autre part, grâce* « *aux dispenses de l'article* 77, § 2, *de la loi de* 1850, *la jonction des matières* « *de l'enseignement primaire n'y doit pas rencontrer les obstacles qu'on lui a quel-* « *quefois opposés.* »

En résumé, la Commission pense qu'il y a immensément à faire dans notre pays pour le développement de l'instruction professionnelle, mais que ce n'est pas la loi proposée qui résoudra le problème. Elle trouve la solution du Gouvernement compliquée et inutile, et déclare qu'il suffit de la liberté donnée à tous, avec des encouragements décernés aux méritants.

Ces conclusions, dit M. DALLOT, nous paraissent sages. De quoi s'agit-il? Principalement de provoquer l'initiative individuelle, par qui seule tout doit et peut se faire. L'Administration, malgré son zèle éclairé, ne connaît que très-imparfaitement nos besoins. Puisqu'elle a à cœur de les satisfaire avec libéralité, elle peut nous rendre un service immense : nous laisser agir librement. Quant à faire la besogne pour nous, c'est impossible.

Puisqu'on proclame qu'il n'existe encore sur le champ de l'enseignement professionnel que quelques rares défrichements, et, nous l'admettons, puisqu'il faut y appeler des colons, race énergique et capable de grandes choses, mais impatients des liens, ne commencez pas par les effaroucher en leur montrant un joug, dont le poids est peut-être léger, mais dont la vue seule les fera fuir. Nous le répétons, le projet de loi est à côté de la question. Il n'en aperçoit qu'une faible partie, l'enseignement des enfants, des apprentis. Et pourtant, M. Flachat nous l'a dit ce soir :

ce qui est urgent, ce qui demande une solution immédiate, c'est l'organisation de l'enseignement professionnel des adultes. Eh bien ! voilà où le projet de loi échoue complétement, et c'est sur ce point que ses dispositions restrictives sont moins inoffensives qu'on ne veut l'avouer.

Personne ne songe à repousser le concours de l'État dans ce qu'il a de généreux et de légitime. Personne ne trouvera les deniers publics mal employés dans une guerre contre l'ignorance, dans une croisade en faveur de la civilisation matérielle, auxiliaire puissant de la civilisation morale. Maintenant quel département ministériel chargera-t-on de dépenser cet argent ? Peu importe. Nous avons entendu exprimer contre le Ministère de l'instruction publique des préventions qui ne nous paraissent pas fondées. L'Université est au moins aussi grande par les sciences que par les lettres. Il serait injuste de l'oublier. On ne doit pas davantage méconnaître les immenses efforts qu'elle fait depuis plusieurs années pour satisfaire les besoins du travail industriel jusque dans ce qu'ils ont d'immédiat. Toutefois, nous le reconnaissons, le Ministère des travaux publics est mieux placé, plus à portée, pour concourir au développement de l'enseignement technique. Mais, au nom de l'avenir même de cet enseignement, qu'on ne l'enferme pas dans un cadre administratif quelconque. Qu'il ressortisse avant tout du ministère de la liberté.

M. Mony répond que la sympathie de la Commission en faveur de l'enseignement technique n'est pas un instant douteuse, mais elle conclut au rejet du projet.

Il ne croit pas que ce rejet tienne, comme le dit M. Dallot, aux restrictions nécessaires qui s'y trouvent.

Les lois n'accordent certains avantages qu'à telle ou telle condition, et rien ne peut justifier des libertés qui n'ont pas de frein.

M. Mony passe en revue les divers articles de la loi : il trouve que les restrictions les plus importantes qui s'y trouvent, telles que l'approbation préalable du préfet, la nécessité de l'enseignement primaire, ne sont pas de nature à empêcher le développement de l'enseignement technique; l'approbation du préfet est nécessaire pour que l'Administration s'assure que l'enseignement que l'on veut créer a bien la destination prévue par les dispositions de la loi, l'enseignement primaire a paru nécessaire aux auteurs du projet de loi pour suivre avec fruit l'enseignement technique.

Les faits cités par M. Flachat sont rares, et d'ailleurs l'instruction primaire ne pouvant pas nuire, M. Mony pense qu'on a bien fait de l'exiger.

Il lit le passage du rapport de la Commission relatif aux cours de Guebwiller.

Ce n'est qu'après six années d'attente que l'autorisation a été accordée.

Il ajoute que les faits de cette nature indiquent qu'une loi nouvelle est nécessaire.

Ils justifient le projet de loi.

M. Mony fait encore remarquer qu'à Commentry il a été obligé de renoncer aux écoles spéciales qu'il voulut organiser, à cause de l'action de l'Administration de l'instruction publique voulant imposer à ces écoles professionnelles les programmes universitaires qui ne peuvent leur convenir.

En ce qui concerne le Conseil supérieur de l'enseignement technique, dont il est parlé dans la loi, M. Mony voudrait qu'il fût composé d'industriels; il est à craindre qu'il entre dans sa composition les mêmes noms que dans les autres Conseils, et dans ce cas il ne serait pas d'une grande utilité.

M. Mony résume en terminant les dispositions principales de la loi. Il croit que les

mesures qu'elle prescrit ne sont pas trop restrictives ; elles apportent, contrairement à ce que prétend M. Dallot, une liberté qui n'existe pas aujourd'hui, ainsi que cela a été surabondamment prouvé par l'enquête.

M. LE PRÉSIDENT, après avoir remercié MM. Stéphane Mony et Flachat, dit que d'après l'accueil fait par la Société à leur intéressante communication, il pense être dès à présent l'interprète des sentiments de ses collègues, en affirmant que toute loi qui aura pour but de développer en France l'enseignement en général et spécialement l'enseignement technique, répond à un besoin urgent; que l'enseignement technique ayant surtout en vue de faire progresser les arts, l'industrie et l'agriculture est tout naturellement du ressort du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

M. LE PRÉSIDENT ajoute que sans vouloir engagager la discussion plus à fond, vu l'heure avancée de la séance, il croit devoir se borner à appeler particulièrement l'attention de M. Mony sur la manière de former les commissions et conseils de perfectionnement du nouvel enseignement. M. le Président fait ressortir l'aptitude spéciale à ces fonctions des Ingénieurs sortis de l'École centrale des arts et manufactures, et les services qu'ils pourraient rendre au sein de ces comités spéciaux.

M. MONY reconnaît la justesse de cette observation, et promet de ne pas la perdre de vue lors de la discussion du projet de loi qu'elle concerne.

ENSEIGNEMENT TECHNIQUE. — PROJET DE LOI.

ARTICLE PREMIER. — L'enseignement technique a pour objet la pratique des arts utiles et l'application aux diverses branches de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, des études scientifiques ou artistiques qui s'y rapportent.

Il peut être donné aux enfants ou adultes de l'un ou de l'autre sexe.

ART. 2. — L'enseignement technique demeure placé dans les attributions du Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

ART. 3. — Tout Français, s'il remplit les conditions fixées ci-après, peut ouvrir un établissement d'enseignement technique, sans être astreint à justifier préalablement de sa capacité.

S'il veut ajouter à l'enseignement technique des cours exclusivement scientifiques ou littéraires et distincts, il doit remplir, soit par lui-même, soit par l'un de ses auxiliaires, les conditions imposées par les lois et règlements généraux sur l'instruction publique à l'égard des établissements libres.

Les incapacités ou interdictions prévues par les articles 26 et 65 de la loi du 15 mars 1850 sont applicables à l'enseignement technique.

ART. 4. — Celui qui veut ouvrir une école technique doit être âgé de vingt et un ans au moins.

Il déclare préalablement son intention au maire de la commune où il se propose d'exercer, et lui fait connaître l'objet et le programme de l'enseignement, ainsi que le local où il a le projet de s'établir.

Cette déclaration doit être en outre adressée au préfet, qui peut faire opposition dans l'intérêt des mœurs publiques, ou s'il estime que l'établissement projeté, eu égard à son programme, ne rentre pas sous l'application de la présente loi.

Si aucune opposition n'est notifiée au demandeur par le préfet dans le délai d'un mois, à partir de la déclaration, l'école peut être ouverte.

Les dispositions du présent article sont applicables aux cours ou conférences ayant pour objet une des parties de l'enseignement technique.

ART. 5. — Celui qui veut ouvrir un pensionnat destiné à l'enseignement technique doit être âgé de vingt-cinq ans au moins.

Il n'est assujetti à aucune condition de stage.

Il doit faire au maire ou au préfet la déclaration prescrite par l'article précédent, et joindre au programme de l'enseignement projeté un plan du local où il a l'intention de s'établir.

Le préfet peut faire opposition à l'ouverture du pensionnat dans le délai d'un mois et pour les causes mentionnées à l'article 64 de la loi du 15 mars 1850. Après ce délai, s'il n'est intervenu aucune opposition, l'établissement peut être immédiatement ouvert.

Toutes les mesures à prendre dans l'intérêt de la moralité et de la santé des élèves sont prescrites par un règlement arrêté par le préfet, sur la proposition des fondateurs de l'établissement, après avis du conseil municipal et de la chambre du commerce ou de la chambre consultative d'agriculture, s'il y a lieu.

ART. 6. — Le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics statue sur les oppositions qui pourraient être formées contre l'ouverture des écoles, cours, conférences ou pensionnats techniques, après avoir pris l'avis du Conseil supérieur institué par l'article 17 de la présente loi.

Il prononce, dans la même forme, sur les réclamations auxquelles pourrait donner lieu l'application du dernier paragraphe de l'article 5.

ART. 7. — Les étrangers ne peuvent ouvrir ou diriger en France des établissements d'enseignement technique qu'en vertu d'une autorisation du Ministre.

ART. 8. — Toute liberté est laissée à l'initiative locale ou individuelle pour la détermination des enseignements à créer, pour l'organisation des cours et ateliers, pour le choix des professeurs, des maîtres ou maîtresses et des méthodes, sous la réserve de l'observation des lois.

ART. 9. — Quiconque aura ouvert ou dirigé un établissement d'enseignement technique en contravention aux articles 4, 5 et 7, ou avant l'expiration du délai fixé par lesdits articles, sera passible des peines portées par le premier paragraphe de l'article 19 de la loi du 15 mars 1850 :

L'établissement sera fermé.

En cas de récidive, le délinquant sera condamné à un emprisonnement de six jours à un mois, et à une amende de 100 à 1000 francs.

La même peine de six jours à un mois d'emprisonnement et de 100 à 1000 francs d'amende sera prononcée contre celui qui, dans le cas d'opposition formée à l'ouverture de son établissement, l'aurait néanmoins ouvert avant qu'il ait été statué sur cette opposition, ou bien au mépris de la décision qui aurait accueilli l'opposition.

ART. 10. — L'article 463 du Code pénal pourra être appliqué aux faits prévus par la loi.

ART. 11. — Il sera institué des examens destinés à constater l'aptitude à l'enseignement technique.

Les programmes, les épreuves pratiques, et, s'il y a lieu, les conditions de stage, sont arrêtés par le Ministre sur l'avis du conseil supérieur institué par l'article 17 de la présente loi.

Les examens ont lieu dans les localités désignées, devant un jury spécial nommé par le Ministre. Ils ne seront pas obligatoires pour l'exercice de l'enseignement technique.

ART. 12. — Dans les établissements privés, les examens de fin d'études ont lieu et les diplômes sont délivrés, le cas échéant, sans aucune intervention de l'autorité.

Toutefois, dans les établissements subventionnés ou qui, ayant des cours réguliers d'étude, sont admis à ce genre d'encouragement, des certificats d'étude peuvent être donnés par des jurys locaux présidés par des délégués du Ministre.

Ces certificats, enregistrés au ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, n'ont qu'une valeur de constatation, et ne confèrent aucun privilége à ceux qui les ont obtenus.

ART. 13. — En cas d'inexécution des lois et règlements, ou de désordres graves dans le régime intérieur d'un établissement d'enseignement technique, le chef de cet établissement peut être frappé, soit d'une réprimande avec ou sans publicité, soit de l'interdiction à temps ou à toujours. La réprimande simple est prononcée par le préfet.

La réprimande publique ne peut être prononcée par le préfet qu'en vertu d'une autorisation du Ministre, le chef de l'établissement entendu. Dans les cas où il y a lieu d'interdire à temps ou à toujours l'exercice de la profession, l'interdiction est prononcée par le préfet, en conseil de préfecture, après enquête, et le chef de l'établissement entendu.

L'appel est porté devant le Ministre, qui prononce de l'avis du Conseil supérieur dans le délai de deux mois.

L'appel est suspensif.

Il peut y avoir recours au Conseil d'État pour violation de la loi ou excès de pouvoir.

ART. 14. — A part les établissements publics existants, ou dont la création serait jugée nécessaire, l'État encourage les efforts des départements, des communes, des associations ou des particuliers pour le progrès de l'enseignement technique, notamment en ce qui concerne la création d'écoles du dimanche ou du soir, d'écoles de dessin, de cours, de conférences ou de classes régulières ayant pour objet les matières de cet enseignement, à tous les degrés. En cas de concours de l'État, l'administration peut imposer les conditions qui lui paraissent propres à assurer la bonne direction et le succès de l'établissement encouragé.

ART. 15. — Les encouragements consistent, suivant les cas, en distribution de livres ou de modèles utiles, soit gratuitement, soit à des conditions favorables, et en récompenses aux chefs d'établissements, aux professeurs, aux maîtres ou maîtresses, aux chefs d'ateliers ou aux élèves.

ART. 16. — L'État concourt également par des encourgagements à la création, dans les grands centres industriels, d'institutions analogues au Conservatoire, avec des

collections de modèles, de machines, des laboratoires d'expérimentation ou des bibliothèques publiques contenant des ouvrages spécialement destinés à l'enseignement technique.

ART. 17. — Il est institué, près du Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, un Conseil supérieur de l'enseignement technique.

Le Conseil supérieur est présidé par le Ministre ou par un vice-président nommé par l'Empereur.

Il donne son avis sur les lois et les règlements relatifs à cet enseignement et sur toutes les questions qui lui sont renvoyées par le Ministre.

Il est consulté spécialement sur l'opportunité, la nature et l'importance des encouragements à accorder à cet objet, eu égard au mérite de leurs méthodes et au degré d'utilité qu'ils présentent.

Il délibère sur les oppositions formées dans les cas prévus par les articles 4 et 5 et sur les interdictions à prononcer en vertu de l'article 13.

Il adresse annuellement au Ministre, pour être soumis à l'Empereur, un rapport sur la situation générale de l'enseignement technique et sur les moyens de le développer.

ART. 18. — Il pourra être créé une inspection de l'enseignement technique.

Cette inspection sera centralisée au Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sans préjudice des mesures prises dans les départements pour la surveillance dévolue aux préfets.

Les inspecteurs auront un droit de surveillance sur les établissements d'enseignement technique encouragés ou non.

Ils pourront exiger des chefs d'établissements qui recevront des encouragements des rapports sur le nombre et l'âge des élèves, les heures de travail ou d'étude, le programme de l'enseignement, les méthodes employées et les résultats obtenus, sans imposer, en aucun cas, des programmes ni des méthodes.

Ils assisteront, avec voix consultative, aux séances du conseil supérieur et y rempliront les fonctions de rapporteurs.

ART. 19. — L'enseignement technique est ajouté à l'instruction pour laquelle le maître est tenu, par la loi du 22 février 1851 sur l'apprentissage, de laisser deux heures par jour, à la disposition des apprentis.

ART. 20. — A l'avenir, les dispositions de la loi du 22 mars 1841 seront applicables aux enfants employés dans toute manufacture, usine, fabrique ou atelier, quel que soit le nombre des ouvriers réunis dans l'établissement.

ART. 21. — La limite d'âge pour l'admission des enfants au travail dans les établissements soumis à la loi du 22 mars 1841, et à l'article qui précède, est élevée à dix ans.

ART. 22. — La durée de travail est limitée à six heures pour les enfants de dix à treize ans, et à dix heures pour ceux de treize à seize ans.

ART. 23. — La fréquentation obligatoire d'une école, établie par l'article 5 de la loi du 22 mars 1841, est étendue aux jeunes gens de douze à seize ans.

MM. Beauchamp et Chardon ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 19 Février 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

Le procès-verbal de la séance du 5 février est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer à la Société la perte qu'elle vient de faire de deux de ses membres : MM. Bouillon et Paul Garnier.

M. le Président invite les membres de la Société qui connaissent le mieux les carrières parcourues par nos collègues à vouloir bien se charger de rédiger des notices nécrologiques.

Il espère que M. Muller voudra bien se charger de la notice sur M. Bouillon, et M. Eug. Flachat de celle relative à M. Paul Garnier.

M. le Président donne ensuite la parole à M. Tresca, sur la question relative à l'enseignement technique.

M. Tresca regrette de n'avoir pas pu assister à la dernière séance, pour répondre aux questions posées par M. Mony.

Il rappelle qu'en 1864, la Société s'est occupée de la question de l'enseignement professionnel, et que le rapport de la Commission nommée dans le sein du comité de la Société, pour l'étude de cette question[1], a été inséré à cette date dans les procès-verbaux des séances de la Société.

Il regrette qu'un si petit nombre de membres ait pris part à la discussion soulevée par la demande de M. Mony, et il croit qu'il aurait été utile de lui rappeler que dès 1864 la Société s'était occupé sérieusement de l'enseignement professionnel.

Il désire en conséquence être autorisé à présenter les développements que comportent les questions multiples qui se rattachent à celle de l'enseignement technique.

Il croit qu'il est utile de faire connaître l'opinion des ingénieurs sur cette question.

M. Tresca fait remarquer que l'examen de l'enseignement public doit être divisé en deux classes bien distinctes :

1° L'enseignement classique destiné à donner une instruction générale, à développer l'intelligence ;

2° L'enseignement technique, qui n'est pas, à l'égal du premier, entré dans les mœurs, mais que l'on veut créer, et qui est destiné à développer l'esprit d'application.

Ces deux enseignements doivent rendre des services dans des milieux très-différents.

Un des rôles de cet enseignement technique consiste dans l'instruction de la classe

1. Cette Commission était composée de MM. Tresca, *Président*, J. Farcot, Ch. Laurent, Limet, A. Nozo et Ch. Goschler, *rapporteur*.

ouvrière, pour laquelle on s'est trop souvent borné à demander s'il fallait établir l'école dans l'atelier, ou l'atelier dans l'école.

L'école et l'atelier sont l'une et l'autre indispensables au moins pour les apprentis et les ouvriers adultes.

Il fait remarquer que cette question de l'enseignement professionnel n'est pas absolument indépendante de l'enseignement primaire, de l'enseignement classique, de l'enseignement technique destiné aux chefs d'industrie et aux ingénieurs, ni même de l'enseignement spécial qui ne s'adresse, malgré cette appellation, à aucune spécialité.

Ce dernier enseignement qui est une création nouvelle répondant certainement à un besoin réel peut, à un autre point de vue, être considéré comme une machine de guerre, qui est venue compliquer la question qui, de claire qu'elle était avant cette organisation, semble s'être obscurcie quant aux rôles et aux attributions des différents départements ministériels.

On ne sait pas assez en quoi doit différer l'enseignement technique de cet enseignement spécial, qui n'a de spécial que le nom et qui est exclusivement un enseignement tout à fait général, quant à la doctrine et aux faits qui s'y rattachent.

Pour lever tous les doutes au sujet des attributions, il croit nécessaire de faire, une fois de plus, une revue rapide des divers établissements d'enseignement techniques existants.

Il cite d'abord les écoles d'usines et les écoles d'apprentissage tenant à la direction des travaux publics par la question du travail des enfants dans les manufactures, et par l'objet même que l'on s'y propose.

Les écoles d'arts et métiers, au nombre de six ;

Les écoles municipales et les écoles dirigées par des sociétés industrielles ;

Les écoles supérieures d'enseignement technique, telles que l'École centrale, les écoles des ponts et chaussées et des mines ;

Enfin le Conservatoire des arts et métiers.

M. Tresca fait remarquer qu'il aurait pu omettre dans cette liste le Conservatoire, dont les cours de sciences appliquées ne sont exclusivement consacrés ni à la population ouvrière, ni aux jeunes gens qui veulent compléter leur instruction, mais qui doit cependant, par les collections qu'il renferme, et par ses cours généraux de sciences appliquées, avoir une importante influence sur l'enseignement professionnel.

Dans cette énumération, les écoles d'adultes sont les seules qui ressortent plus ou moins du ministère de l'instruction publique. Toutes les autres appartiennent au ministère des travaux publics.

Les différents établissements que M. Tresca vient de citer ne coûtent à l'État que 3 millions.

Il est résulté des enquêtes, que l'instruction n'est ainsi donnée qu'à un sujet sur dix mille. Cette seule considération montre qu'il est urgent d'étendre cet enseignement.

La direction de cet enseignement revient évidemment à l'esprit d'application, et d'ailleurs on ne saurait concevoir, au sujet des attributions, que trois solutions :

1° La division entre les deux ministères de l'instruction publique et de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Le manque d'unité qui en résulterait doit faire repousser énergiquement cette solution.

2° La direction tout entière dévolue au ministère de l'instruction publique.

En ce qui concerne cette solution, M. Tresca l'admettrait à la condition de faire

passer toutes les écoles techniques existantes sous cette nouvelle direction et en formant ainsi une nouvelle division de l'enseignement dépendant de ce ministère. Ce ne serait pas, au point de vue du but à atteindre, le moyen le plus simple ni le plus facile, et personne parmi nous ne penserait à proposer une pareille détermination.

3° Enfin, comme troisième solution, placer l'enseignement technique dans les attributions exclusives du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Cette solution paraît préférable en ce qu'aucune division nouvelle n'est à créer. Il suffit de développer ce qui existe déjà, d'encourager les efforts individuels et d'observer avec soin la marche et le développement de ce nouvel enseignement par les résultats industriels qui ne sauraient être appréciés ailleurs avec la même compétence.

M. Tresca examine ensuite le but que l'on veut atteindre et les moyens à employer.

Le but fondamental consiste dans le développement des connaissances techniques.

Les connaissances doivent être données par ceux qui savent, à l'exclusion de ceux qui ne savent pas, par ceux qui savent utiliser les connaissances acquises à quelque résultat utile, à l'exclusion de ceux qui n'utilisent pas; en un mot, par ceux qui concourent à la production, par les ingénieurs à tous les degrés qui sont d'esprit et de cœur les adeptes et les auxiliaires des travaux publics et de l'industrie.

Les moyens dont on doit disposer en faveur de l'enseignement technique doivent être multiples, puisque l'on a à atteindre des buts multiples.

Ces moyens d'action doivent être tous puisés dans l'esprit d'un dévouement sans bornes aux intérêts industriels.

Cet enseignement ne peut être réglementé à l'égal de l'enseignement classique : il lui faut une grande liberté d'action, qui n'exclut pas une certaine solidarité dans les procédés.

Liberté de bien faire laissée à ceux qui tenteront l'établissement de cours et d'écoles.

Règles immuables sauvegardant le côté moral de la question, et permettant d'échapper sûrement à l'envahissement et à l'arbitraire de la juridiction académique.

Aux termes du projet de loi proposé, le ministre n'entend se réserver que le droit d'encourager et de faire connaître les enseignements techniques qui ont le mieux réussi, afin d'aider au progrès en dégageant les questions et en faisant ressortir les besoins spéciaux.

Il ajoute que ces besoins sont à peine connus, et qu'il est nécessaire de les définir même auprès des hommes qui, comme les ingénieurs civils, sont tous les jours en contact avec la population ouvrière, et qui connaissent cependant ses besoins.

On raisonne généralement comme si l'enseignement technique avait un but unique, tandis qu'il doit avoir pour objet, par des moyens différents évidemment, d'instruire les ouvriers et de former des chefs d'usines et des ingénieurs.

Parmi les écoles élémentaires qui doivent constituer, comme l'indique M. Tresca, le premier degré de l'enseignement technique, il cite les écoles d'usines dans lesquelles l'influence administrative doit se borner à assurer une existence légale.

M. Tresca range dans cette même division les écoles d'apprentis et les écoles d'adultes. Il fait remarquer que, pour ces dernières surtout, l'enseignement basé sur la division scientifique qu'on a voulu leur donner n'a pas réussi. Il faut, pour être compris de la manière la plus utile par l'homme engagé dans la profession, énoncer

les faits d'abord, montrer à l'ouvrier le côté pratique des questions, et les expliquer ensuite en montrant l'accord de ces déductions avec certains principes fondamentaux qui ne frapperont son esprit que quand ils se présenteront à lui sous la forme de conséquences tangibles.

On arriverait ainsi, en donnant aux écoles actuelles une direction plus technique, à déverser sur la population ouvrière une somme de connaissances bien plus grande que celle qu'on peut lui inculquer par les procédés universitaires.

Il pense que le seul moyen d'intéresser l'ouvrier, après la fatigue des travaux de la journée, consiste à lui montrer le côté utilitaire des questions.

L'on doit surtout, dans cet enseignement, commencer par l'étude du dessin approprié à la profession. C'est le seul moyen de donner de la mémoire à l'ouvrier, de lui permettre d'exprimer sa pensée dans la véritable langue de sa profession, dans la langue qui lui est commune avec l'ingénieur chargé de le diriger dans ses travaux.

M. Tresca ajoute qu'il n'est entré dans ces longues considérations sur l'enseignement du premier degré que pour montrer quels sont les moyens que l'on a à sa disposition pour instruire de la manière la plus profitable la population ouvrière. Mais il ne peut pas se ranger à l'avis de M. Flachat en ce qui concerne l'utilité dominante d'un diplôme.

Il croit que ce diplôme, constatant à la fois et son habileté manuelle et ses connaissances techniques, ne peut pas être d'un grand secours pour l'ouvrier, et qu'il ne lui facilitera que bien rarement son entrée ou son maintien dans les ateliers.

M. Tresca cite ensuite, parmi les établissements d'enseignement technique, les écoles d'arts et métiers.

Par suite de modifications récentes apportées dans le programme des études, ces écoles forment plutôt, dès maintenant, des contre-maîtres et des dessinateurs que des ouvriers instruits. Les élèves y acquièrent les connaissances générales nécessaires aux quatre professions qu'on leur enseignait isolément jusqu'alors. Leur rôle dans l'avenir se trouve ainsi modifié, et elles peuvent être maintenant considérées comme constituant l'enseignement technique du second degré.

Ces écoles peuvent être déjà rangées parmi celles qui peuvent conduire à l'enseignement supérieur, et qui comprennent l'École centrale et les écoles d'application de l'État.

Cet enseignement supérieur est beaucoup mieux pourvu que l'enseignement technique inférieur.

La gratuité accordée aux élèves des écoles d'arts et métiers, dont les parents ont des ressources insuffisantes, permet désormais d'y faire parvenir les apprentis qui se seront distingués dans les écoles du premier degré.

Il espère qu'une certaine somme pourra être allouée bientôt aux meilleurs élèves des écoles d'arts et métiers qui voudront entrer à l'École centrale. Ces encouragements, destinés au complément de l'instruction préparatoire des meilleurs élèves, assureraient certainement parmi eux l'émulation la plus salutaire.

Par suite de cette organisation, l'apprenti intelligent pourra s'élever par son travail, et, à l'aide des moyens que doit lui offrir l'enseignement technique, à la position d'ingénieur civil ou d'industriel.

A tous ces points de vue, la convenance de l'attribution de toutes les branches de l'enseignement technique entre les mains du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, est certainement indiscutable.

Aucun des moyens que M. Tresca vient de passer en revue ne se trouve entre les mains du département de l'instruction publique; les développements qui viennent d'être donnés établissent clairement tous les bienfaits que l'on peut attendre de la disposition proposée.

Le diplôme qu'il considère comme au moins inutile, lorsqu'il s'agit de l'habileté manuelle seulement, lui paraît au contraire nécessaire lorsqu'il s'agit des élèves sortant des écoles de l'enseignement supérieur.

Il ajoute qu'en ce qui concerne la grande question de l'enseignement professionnel, il y a tout à faire, et que dans son organisation doit dominer l'esprit industriel.

Le rôle de l'ingénieur est dès lors tout tracé. Il doit multiplier les moyens d'enseignement, les répandre sous toutes les formes en les appropriant à chaque destination, aider les industriels pour la formation des écoles ou répandre par eux-mêmes les connaissances par la voie des conférences.

Les conférences ne produisent pas toujours tout le bien qu'on en attend; mais elles popularisent les connaissances générales, et, à ce point de vue, il demande la permission de rappeler en quelques mots l'organisation et le but du Conservatoire des arts et métiers.

Le but qu'il atteint avec un succès indiscutable est de rapprocher dans ses cours de sciences appliquées la science de la pratique, de rapprocher les moyens de produire de la théorie, de faire connaître les découvertes, les principes des progrès réalisés, en s'adressant à l'ingénieur, au professeur, au patron et à l'ouvrier, c'est-à-dire à tous ceux qui ont besoin d'être avertis du progrès.

Le Conservatoire a encore la mission d'étudier, sous la direction du ministre, toutes les questions qui intéressent l'enseignement professionnel. Il est organisé de manière à venir en aide, par l'exemple et par les conseils, aux efforts individuels de ceux qui croient à l'importance de l'enseignement technique. Voici un exemple de l'utilité de cette intervention.

M. Tresca signale l'amoindrissement successif de l'école de dessin annexée au Conservatoire, dont l'organisation est devenue celle d'un grand nombre d'écoles fondées par les soins de la ville de Paris; l'Administration se préoccupe des moyens qu'il conviendrait d'employer pour rendre à cette école la prééminence qu'elle avait autrefois.

A cet effet, elle se prête à la création d'une école spéciale qui serait également installée au Conservatoire et organisée par les soins de la corporation des orfévres et des bijoutiers de Paris en faveur des apprentis de ces industries d'art.

Dans cette organisation, le ministère n'intervient que pour donner une subvention, et le Conservatoire pour donner à cette école une sanction administrative que la Chambre des bijoutiers est venue lui demander.

C'est seulement en connaissance parfaite de l'organisation de chacun des établissements d'enseignement technique que l'on peut en apprécier la valeur et le degré d'utilité.

Chacun, dans sa sphère d'activité, répond au besoin de l'époque, et il y a nécessité d'en créer un grand nombre d'autres en faveur de la population ouvrière surtout, puisque c'est en ce qui la concerne que la pénurie est la plus grande.

M. E. Flachat, tout en donnant son entière adhésion aux considérations présentées par M. Tresca en faveur du projet de loi sur l'instruction technique, témoigne sa surprise de l'indifférence et même de l'éloignement avec lequel il a été parlé de l'en-

seignement des adultes. On s'en écarte, dit-il, parce qu'il est difficile. Un sentiment plus vrai des difficultés contre lesquelles l'adulte a à lutter pour trouver les moyens de s'instruire aurait dû faire de cette objection l'argument le plus juste en faveur de cet enseignement.

Le besoin qu'ont l'ouvrier, l'artisan, l'employé, d'un certificat d'aptitude, le droit qu'ils ont de l'acquérir s'ils le peuvent et s'ils le veulent, enfin l'intérêt social qui s'attache à l'instruction des hommes voués aux professions industrielles, tout fait une loi à la société de leur donner, s'ils le méritent, ce certificat, et de leur faciliter les moyens de l'obtenir en répandant l'enseignement technique et en le mettant à leur portée.

M. Flachat regrette que le mot « diplôme de l'ouvrier » ait été prononcé comme la traduction de sa pensée. Il proteste contre ce genre d'argument qui fait de l'exagération du bien la base d'une critique; il persiste, et il croit être en cela l'interprète de tous, à considérer le certificat d'aptitude comme le plus grand encouragement pour les adultes à l'instruction technique. Ce certificat d'aptitude existe dans un nombre considérable de professions. M. Flachat en a énuméré une faible partie : les capitaines de navire, les patrons au cabotage n'atteignent à ces certificats d'aptitude, de simples marins qu'ils étaient, que par l'instruction technique obtenue en dehors de l'Ecole, et bien souvent quand l'âge mûr est venu ; ils ont, il est vrai, charge d'âmes et de gros intérêts en main; mais le simple chauffeur, qui aspire à devenir conducteur de machines à vapeur, n'aura-t-il pas aussi charge d'âmes et des intérêts considérables à préserver par son savoir-faire. S'il sait que le certificat d'aptitude lui ouvrira les portes des ateliers des usines, n'est-ce pas lui présenter le fruit comme conséquence de l'effort pour l'atteindre?

L'enseignement de l'adulte est, dit-on, difficile. Mais d'abord la difficulté diminuera à mesure que l'instruction primaire sera plus étendue; et puis c'est une nécessité impérieuse, absolue, qui existe et existera toujours; la société ne fait en instruisant l'adulte, en lui laissant entre les mains un témoignage qui l'aide à trouver du travail, qu'un acte conservatoire; bien plus, elle fait un acte fécond. Cette tâche va d'ailleurs s'accroître pour elle de jour en jour, avec le développement même de l'industrie et de l'agriculture.

L'état actuel de l'enseignement technique prouve déjà suffisamment que celui qui n'est pas suivi d'une sanction risque d'être en grande partie stérile, et c'est la critique la plus méritée de toute organisation d'enseignement qui n'est pas reflétée par ses élèves.

Quant à l'enseignement technique supérieur, dans toutes les écoles qui lui ont été ouvertes, il a toujours pour conclusion un certificat qui est, à juste titre, décoré du nom de diplôme, parce qu'il indique l'ensemble de toutes les notions nécessaires pour exercer une profession, tandis que le certificat ne s'adresse qu'à des notions et à des aptitudes toutes spéciales, et souvent même à une seule des aptitudes utiles à l'exercice d'un métier. On conçoit l'entraînement exclusif en faveur de cet enseignement supérieur, auquel se laissent aller des hommes qui n'ont d'autre but que d'atteindre aux plus hautes régions de la science, mais ce n'est là qu'un côté des besoins sociaux. — Quand le sol riche est rare, et que presque partout la lande se montre, il y a toujours des cultivateurs pour l'un, jamais assez pour l'autre.

M. Tresca fait remarquer qu'il se serait bien mal fait comprendre si l'on pouvait *lui* prêter l'opinion que lui attribue M. Flachat, au sujet de l'instruction de l'ouvrier

adulte. Il n'a pas dit qu'il ne fallait pas tenter ce qu'il a appelé l'enseignement du premier degré pour les adultes, mais il a indiqué les difficultés de la question, la fatigue résultant du travail de la journée étant considérée par lui comme un bien grand obstacle, au moins pour tous les ouvriers qui ne seraient pas animés d'un courage et d'une envie d'apprendre tout exceptionnels.

Il ajoute que le seul point sur lequel il se soit séparé de M. Flachat est celui de l'utilité du diplôme de l'ouvrier, auquel il ne reconnaît aucune efficacité. L'ouvrier habile se recommande avant tout par son travail même, et non par des certificats.

S'il ne s'est pas apesanti, autant que l'aurait voulu M. Flachat, sur l'enseignement destiné aux ouvriers, c'est qu'il avait en vue, dans sa communication, d'examiner dans leur ensemble les divers besoins auxquels doit satisfaire l'enseignement technique.

D'ailleurs la question d'attribution est en ce moment autrement importante que les termes mêmes du projet de loi soumis aux délibérations du Corps législatif.

Si l'enseignement technique est définitivement placé dans les attributions du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, les questions de détail et d'exécution se résoudront pour ainsi dire par la force même des choses.

M. LE PRÉSIDENT ajoute que, comme l'a fait remarquer M. Tresca à la fin de sa communication, la seule question qu'il y ait à résoudre en ce moment est celle de l'attribution. Il croit que sur ce point tout le monde est d'accord et que l'avis de la société est :

Que l'enseignement technique doit être placé dans les attributions du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Le moment n'est pas venu d'étudier les autres détails qui n'ont pas l'importance de cette question principale et qui pourront être discutés ultérieurement.

M. ACHILLE LE CLER donne ensuite communication de sa note sur les *endiguements, desséchements et la mise en culture des polders ou lais de mer.*

Notre honorable président et M. Love, son honorable prédécesseur, ont appelé tout récemment l'attention de la Société des ingénieurs civils sur l'importance des questions agricoles. Cette invitation et l'accueil que vous avez bien voulu faire au Mémoire que j'ai eu l'honneur de vous présenter sur les endiguements du littoral de la Vendée, m'ont fait penser que vous accepteriez avec le même intérêt quelques compléments à cette communication.

J'ai mis sous vos yeux, en 1867, les détails d'exécution des polders que j'ai endigués dans la baie de Bourgneuf, et je n'ai ajouté à la description de ces travaux que quelques courtes considérations générales relatives aux desséchements.

Ce sont ces considérations générales qu'une occasion récente m'a engagé à compléter. La Société des agriculteurs de France, qui s'est réunie, du 16 au 23 décembre dernier, sous la présidence de M. Drouyn de Lhuys, m'a nommé secrétaire de la section du génie rural, et j'ai essayé de payer ma dette de reconnaissance en présentant à cette Société un Mémoire sur les endiguements et la culture des lais de mer.

Ce Mémoire renfermait, dans l'une de ses parties, le résumé du travail inséré dans les bulletins de la Société des Ingénieurs civils, et, dans son autre partie, la note complémentaire dont je vous demande la permission de vous donner lecture.

Parmi les entreprises les plus considérables et les plus dignes d'intérêt au point de vue agricole, il faut compter celles qui ont pour but d'accroître, d'endiguer et de

mettre ensuite en culture les atterrissements qui tendent à se former sur des points nombreux du littoral de la France.

Quelques considérations générales montreront toute l'importance de ces grands et utiles travaux qui sont essentiellement du domaine du génie rural. On reconnaîtra aisément quel intérêt considérable il y aurait, pour l'État et pour les populations, à faciliter l'exécution des desséchements en diminuant les formalités qui rendent si difficile l'obtention des concessions, ou même la simple mise en adjudication publique des terrains délaissés par la mer et propres aux entreprises de cette nature.

IMPORTANCE DE LA QUESTION DES DESSÉCHEMENTS DE LAIS ET RELAIS DE MER EN FRANCE.

Tout le monde connaît les immenses desséchements de la Hollande et de la Belgique. Ceux que présente l'Angleterre sont moins connus, bien qu'ils soient aussi fort remarquables. Les terres endiguées sur son littoral ont une superficie de plus de 700,000 hectares, représentant une valeur de plus de 2 milliards.

Il y a énormément à faire, en France, dans cette voie. L'étendue des lais ou relais de mer, marais ou étangs salés que l'on pourrait endiguer ou dessécher avec avantage s'élève, suivant les recherches intéressantes de M. Hervé-Mangon, à environ 100,000 hectares, répartis à peu près comme l'indique le tableau suivant, où ne figurent nominativement que les départements dans lesquels les opérations seraient les plus nombreuses et les plus lucratives :

Pas-de-Calais.....	10,000	hectares.
Somme.....	4,500	—
Eure.....	3,000	—
Calvados.....	3,000	—
Manche.....	4,000	—
Vendée.....	15,000	—
Charente-Inférieure.....	14,000	—
Gironde.....	1,500	—
Var.....	1,500	—
Bouches-du-Rhône.....	20,000	—
Gard.....	2,000	—
Hérault.....	4,000	—
Aude.....	4,000	—
Corse.....	9,000	—
Autres départements.....	4,500	—
Ensemble.....	100,000	hectares.

Des études faites avec soin, sur chaque point, indiqueraient quelle partie de cette étendue pourrait être endiguée immédiatement, et quelle autre devrait être soumise à des travaux préparatoires de colmatages.

Aux chiffres qui précèdent et qui ne s'appliquent presque exclusivement qu'à des terrains voisins du littoral, il faudrait ajouter des surfaces considérables de marais intérieurs qui pourraient être colmatés par la dérivation de canaux d'irrigation. Ainsi, M. Nadault de Buffon estime à plus de 600 kilomètres carrés (62,000 hec-

La loi du 16 septembre 1807 établit les principes d'après lesquels s'opère le desséchement des marais. Elle est applicable aux endiguements des lais de mer.

L'article 1er de cette loi porte que le Gouvernement ordonne les desséchements qu'il croit utiles ou nécessaires. C'est un droit incontestable de l'autorité publique. Les articles 2 et 3 déclarent que les desséchements sont exécutés soit par l'État, soit par un concessionnaire.

Ces questions de concession des marais ont été examinées à plusieurs reprises. Voici ce que le Conseil d'État disait, le 3 décembre 1837, dans une délibération prise, toutes les sections étant réunies :

« La loi du 16 septembre 1807 laisse au Gouvernement la faculté de concéder des « lais et relais de mer, aux conditions qu'il aura réglées; il se trouve, par cette dis- « position, tout à fait libre, suivant les circonstances, de concéder directement ou « d'aliéner lesdits terrains par la voie des enchères publiques.

« Les travaux d'endiguement exigent des concessionnaires des travaux d'art con- « sidérables, des connaissances et des garanties spéciales, dont le Gouvernement seul « peut être juge; on ne peut abandonner au hasard d'une adjudication publique des « travaux dont la mauvaise exécution pourrait avoir les plus grands inconvénients « pour le pays, au lieu de lui procurer les avantages qu'on a le droit d'en attendre. »

Le comte d'Argout, dans un rapport à la Chambre des Pairs, disait : « qu'il y au- « rait plus de profit pour l'État à concéder les lais et relais de mer, fût-ce même « gratuitement, que d'attendre, pendant des siècles, que la nature ait terminé son « travail; que ces biens, d'une espèce particulière, sont condamnés à rester stériles « dans les mains de l'État, et ne lui profitent que lorsqu'ils en sortent. C'est en se « dépouillant qu'il s'enrichit, et il y a toujours avantage pour lui à s'en défaire, même « en les donnant gratuitement. »

Enfin, si nous remontons jusqu'en 1827, nous trouvons les observations suivantes dans un rapport du Directeur général des ponts et chaussées :

« Si nous compulsons les anciens arrêts de concessions, et si nous examinons « surtout les préambules de ces arrêts, nous voyons nos rois accueillir avec autant « de bienveillance que d'empressement la proposition d'entreprendre ces grands « travaux qui influent si puissamment sur la prospérité des peuples, et qui appel- « lent les bénédictions des générations à venir..... »

L'utilité de ces entreprises et la nécessité de les encourager ont donc été reconnues de tous temps, et le Gouvernement actuel, qui veut favoriser l'agriculture, attache assurément la plus grande importance aux questions de desséchement et d'endiguement. Il en a donné la preuve dans certains cas particuliers, dignes d'être signalés. Par exemple, les digues de la Basse-Seine, que l'État a exécutées lui-même pour améliorer la navigation, mais qui, en outre de ce grand résultat, ont produit des conquêtes fort importantes, d'excellentes terres de pâturages, dont la valeur a été partagée entre l'État et les riverains, d'une façon fort libérale et avantageuse pour ces derniers[1].

CONCLUSION.

Que pourrait-on donc faire pour faciliter le développement de ces utiles conquêtes? Nous ne prétendons pas que le mode de concession doive être absolu, mais qu'il soit

1. M. Nadault de Buffon estime qu'il y a encore, sur ce point, de vastes atterrissements à endiguer et qui pourraient être concédés.

accueilli favorablement, quand nul intérêt public n'exige une adjudication publique, et quand les demandes s'appuient sur des garanties sérieuses; que, dans tous les cas, les délais soient abrégés, et que les formalités soient simplifiées dans ce qu'elles n'ont pas d'indispensable.

Le Gouvernement viendrait encore en aide à l'extension de ces travaux, s'il ordonnait à ses agents, et spécialement aux ingénieurs des ponts et chaussées, de préparer, à l'avance, comme il l'a fait pour le réseau des chemins de fer, un ensemble d'études nécessaires, et de déterminer les points où les endiguements peuvent être entrepris et les desséchements effectués. Qu'on fasse connaître les diverses zones plus ou moins avancées en colmatage et susceptibles d'amodiation plus ou moins immédiate. Ces études peuvent se faire à l'aide de nivellements qui permettraient de tracer sur les plans du littoral des courbes de la hauteur d'eau dans les marées d'équinoxe, spécialement dans les baies couvertes de vases limoneuses.

Enfin, comme ces entreprises exigent des capitaux considérables, il serait juste que le Gouvernement assimilât les desséchements au *drainage*, en donnant à ce mot sa signification la plus étendue, et en définitive la plus complète. Drainage, en Angleterre, veut dire desséchement, assainissement des terres en général, et le drainage par tuyaux n'est qu'une application restreinte, et sous une forme spéciale, à l'assainissement des champs. Eh bien! qu'on mette à la disposition des desséchements le prêt, à 4 pour 100, des 100 millions destinés au drainage. Cette loi trouverait enfin un large emploi conforme assurément aux vœux des législateurs qui ont voté la loi, et du Gouvernement qui l'a présentée dans un but d'encouragement général en faveur de l'agriculture.

Ces conquêtes pacifiques habitueront les grands capitaux à se diriger vers les opérations agricoles. Que l'État ne craigne donc pas de leur donner tous les encouragements possibles, tant au point de vue de la prospérité de la population que des intérêts directs ou indirects du Trésor public.

Telle est, Messieurs, la note que j'ai l'honneur de vous soumettre. La Société des agriculteurs de France a bien voulu voter l'impression de mon Mémoire, et elle en a adopté les conclusions dans la séance du 22 décembre. Elle a, en conséquence, émis les vœux suivants :

1° Que l'on mette en vente et que l'on concède directement, quand nul intérêt public ne s'y oppose, les lais et relais de mer propres à être endigués;

2° Que les délais actuellement nécessaires pour obtenir les concessions soient abrégés en ce qu'ils n'ont pas d'indispensable;

3° Que les agents du Gouvernement, et spécialement les ingénieurs des ponts et chaussées soient chargés de préparer, à l'avance, un ensemble d'études ayant pour but de déterminer les points où les endiguements peuvent être entrepris et les desséchements effectués;

4° Que les entreprises d'endiguement soient assimilées aux travaux de drainage, pour l'obtention de fonds à 4 pour 100 sur les 100 millions attribués à cette opération agricole.

Ces vœux ont été adoptés à l'unanimité.

IMPORTANCE DES QUESTIONS AGRICOLES.

Je vous demande pardon, Messieurs, d'avoir remis sous vos yeux des considérations que je vous avais déjà exposées, en partie, précédemment; mais j'ai trouvé

ainsi l'occasion d'appuyer la mise à l'ordre du jour de notre Société des grandes questions agricoles que nos honorables présidents ont rappelées avec insistance.

Je partage, en effet, complétement leur pensée qu'il peut y avoir de ce côté un champ intéressant et immense pour les ingénieurs civils. Les progrès de l'agriculture sont intimement liés à ceux de l'industrie, et il me suffira de vous indiquer les principales applications du génie rural pour que vous en compreniez toute la portée.

1° Il y a d'abord pour *l'aménagement des eaux* : les endiguements, les dessèchements, les colmatages, les irrigations et le drainage;

2° Viennent ensuite pour les *constructions rurales* : les habitations destinées à l'exploitation des terres, les greniers et les silos pour la conservation des grains, les chemins et les clôtures;

3° En ce qui concerne la *mécanique agricole*, il y a : les moteurs les instruments divers, les charrues ordinaires, les charrues à vapeur, les faucheuses, les moissonneuses, les machines à battre, etc.;

4° N'oublions pas enfin les *industries* qui se rattachent à l'agriculture, et qui comprennent la fabrication du sucre, les raffineries, les distilleries, les laboratoires de chimie pour les *stations* agricoles, etc.

Une partie seulement de ce programme peut donner lieu à l'exécution de vastes travaux et à l'établissement d'usines considérables.

Vous savez, Messieurs, qu'en France la moitié de la population est occupée aux travaux de l'agriculture; en Angleterre, la classe rurale n'est que 20 pour 100 du chiffre de la population totale; et aux États-Unis, le nombre des agriculteurs n'est que de 10 pour 100 de la population.

Ces derniers chiffres, que j'ai trouvés dans un rapport de M. Tisserand, me paraissent un peu faibles. Mais, quoiqu'il en soit, qu'est-il arrivé en Angleterre et aux États-Unis? Il a fallu demander le secours de la mécanique pour suppléer aux bras qui manquaient. On compte déjà 175,000 machines à moissonner aux États-Unis, et on estime qu'il s'en construit 100,000 chaque année. Elles coupent, chaque jour, la récolte de 7 à 800,000 hectares de céréales, c'est-à-dire une surface grande comme l'Alsace. Le constructeur américain, Mac Cormick, l'inventeur des moissonneuses, et qui a obtenu le 1er prix à l'Exposition universelle, avait déjà vendu, de 1850 à 1867, 81,900 machines pour l'Amérique seulement, représentant une valeur de 55 millions de francs. Son habile concurrent, M. Wood, de New-York, en a vendu plus de 70,000.

Les fabriques de matériel agricole se comptent aussi par centaines en Angleterre. A leur tête se trouve la maison Ransomes, dont l'usine couvre un espace de 5 hectares et emploie plus d'un millier d'ouvriers. Viennent ensuite MM. Howard frères, qui s'appliquent surtout à la construction de charrues et de herses. L'exportation anglaise des instruments agricoles, sans comprendre les locomobiles et les machines à vapeur, monte à 12 ou 14 millions de francs par an.

On est bien loin de tels chiffres en France, mais on commence à ressentir les mêmes besoins. Les fabriques d'instruments agricoles se sont multipliées. Nous avons un bon nombre de constructeurs distingués : Dombasle, Vallerand, Pinet, Lotz, Renaud, Armand Guibal, Albaret, Ganneron, etc. Mais il ne faut pas s'en tenir à l'état actuel. On sera obligé d'agir en agriculture comme dans l'industrie, et de demander au développement de la mécanique agricole les forces que le nombre insuffisant des ouvriers ne donne que d'une manière incomplète.

Permettez-moi, messieurs, de placer encore sous vos yeux quelques chiffres qui

montrent l'étendue du domaine rural en France, et, par suite, quelles *quantités* considérables comportent les applications de l'agriculture.

J'ai emprunté ces renseignements à la statistique que vient de publier le ministère de l'agriculture et des travaux publics, et qui renferme les résultats du recensement agricole de 1862 :

Céréales. — Les céréales, et, sous ce titre on comprend le froment, le méteil, le seigle, l'orge, l'avoine, le maïs, le sarrazin et le millet occupaient, en 1865, les 29 centièmes du territoire de la France (15,600,000 hectares, sur 54,300,000). Leur production s'est élevée à 260 millions d'hectolitres de grains, et 280 millions de quintaux de paille, ayant ensemble une valeur brute de 4 milliards 875 millions de francs.

Le froment seul s'applique à 7,500,000 hectares, et produit 108 millions d'hectolitres, valant 2,800,000,000 de francs; c'est-à-dire que le froment occupe les 48 centièmes de la superficie affectée aux céréales et donne les 60 centièmes de leur valeur totale.

L'alimentation de l'homme a absorbé, en 1862, 109 millions d'hectolitres de grains, soit 3 hectolitres par habitant, soit 82 centilitres par habitant et par jour.

Farineux alimentaires. — Les pommes de terre, les châtaignes et quelques autres produits analogues ont donné (en chiffres ronds) 150,000,000 hectolitres, d'une valeur totale de 530,000,000 de francs, sur 1,770,000 hectares.

Cultures maraîchères et potagères. — Les haricots, fèves, pois, choux, carottes, etc., ne s'appliquent qu'à 700,000 hectares, mais donnent un produit de 530,000,000 de fr., qui est supérieur aux farineux.

Cultures industrielles. — La betterave, le colza, les plantes textiles, les mûriers (soie), le tabac, la garance, etc., s'élèvent à une production de 450 millions de francs.

Fourrages. — Les prairies, les pâturages et les divers fourrages s'appliquent à une surface de 14,400,000 hectares, et sont estimés à 1,890,000,000 de francs.

Vignes. — La culture de la vigne occupe 2,300,000 hectares. Elle a produit, en 1862, 48,600,000 hectolitres, d'une valeur de 1 milliard 400 millions de francs.

Voilà quelques renseignements sur les cultures, laissez-moi vous en donner quelques-uns sur les animaux appliqués à l'agriculture.

Le recensement de 1862 indique pour les races chevaline, asine, bovine, porcine, ovine et caprine un nombre de 53,700,000 existences.

Et, en outre de ces gros animaux de ferme, il faut ajouter 60,000,000 de volailles!

On estime à 7 milliards 225 millions de francs le revenu total annuel des animaux de ferme vivants ou abattus.

Instruments agricoles. — La même statistique (et ce sont les derniers chiffres que je citerai) constate que l'outillage agricole de la France se composait, en nombre, en 1862, de 4 millions 1/2 d'instruments de travail de toute nature, savoir :

1° Charrues ordinaires	2,411,785
— perfectionnées	794,736
Soit pour les charrues.	3,206,521
2° Scarificateurs, fouilleuses, houes à cheval, herses (1,002,302), semoirs, extirpateurs, blutoirs, coupe-racines.	1,156,967
3° Machines à faner, à faucher, à moissonner (8,907?), à battre, à vapeur (2,849), à manége (97,884).	124,731
Total général	4,488,219

produits accessoires (publications, amendes, etc.), tandis que le montant des droits d'admission ou d'exonération et des dons est versé au *fonds social inaliénable*.

Cette distinction ne figure dans notre comptabilité officielle que depuis 1861, mais dans le tableau précité elle a été opérée également pour les années antérieures.

Les recettes courantes, de 6,900 fr. en 1851, se sont successivement élevées, et ont atteint en 1868 le chiffre de 25,000 fr. en nombre rond, savoir :

Cotisations.	19,200 fr.
Intérêts du fonds social	5,000
Produits accessoires.	800
Total pareil.	25,000 fr.

Les dépenses se sont constamment accrues en proportion.

De 1851 à 1861, on a été généralement en déficit d'un millier de francs environ, déficit qui n'a pu être couvert qu'avec les ressources affectées depuis lors à la constitution du fonds social.

De 1862 à 1866, les recettes ont produit un excédant total de 6,187 fr.; mais les deux années suivantes, de 1867 et de 1868, ont, à leur tour, laissé un déficit de 5,672 fr. qui, comme vous voyez, a presque absorbé l'excédant des années antérieures. Il est vrai, et vous le savez, que ces deux années étaient des années exceptionnelles en raison de la grande Exposition.

Pour se rendre compte de la décomposition de nos dépenses, il est donc préférable de se reporter à l'exercice 1866 qui a donné, en nombres ronds, les résultats suivants :

Loyer.	4,400f	ou 22 p. 100
Chauffage et éclairage	450	2 —
Personnel.	6,000	30 —
Entretien du mobilier	800	4 —
Bulletins trimestriels.	5,400	27 —
— des séances	1,350	7 —
Affranchissements	1,600	8 —
Total des dépenses de 1866 . .	20,000f	ou 100 p. 100.

On voit que nos publications et leur envoi ont absorbé à eux seuls 42 p. 100 de notre budget. Répartie sur le nombre des sociétaires, cette dépense représente, selon les années, 10, 12 et même 15 francs par membre. Et à moins d'entraver le cours naturel des choses, ce chiffre grossira encore; car, tandis que le nombre de pages de nos bulletins n'était que de 300 en moyenne dans les cinq premières années de notre existence, il s'est progressivement élevé à la moyenne de 630 pendant les cinq années de 1863 à 1867, et dans cette dernière année il a dépassé 800. Rien d'étonnant dès lors que les dépenses progressent tou-

jours avec les recettes. Cependant il ne viendra à l'esprit de personne de chercher des économies en restreignant nos publications. Pour augmenter nos ressources, il ne reste donc d'autre alternative que de relever le taux de la cotisation.

Nous vous proposons de la porter de 24 fr. à 36 francs, en élevant dans la même proportion le prix de l'exonération. Appliquée à 800 membres (déduction faite des exonérés), l'augmentation de 12 francs produira un supplément de recette annuelle de 9,600 fr. Vous allez voir que cette ressource est indispensable pour créer un hôtel et assurer en même temps l'équilibre de nos budgets ultérieurs.

Voici d'abord comment le devis de l'hôtel paraît devoir être établi, dans l'hypothèse d'une superficie de 200 mètres, jugée suffisante, puisque la Société disposera de tous les étages :

Achat de terrain, frais compris, 400 fr. le mètre . . .	80,000 fr.
Construction à 500 fr. le mètre.	100,000
Mobilier	10,000
Intérêts pendant la construction.	6,000
Résiliation du local actuel.	4,000
Total.	200,000

Pour subvenir à cette dépense, la Société n'a que 110,000 francs.

Le tableau déjà cité indique bien comme avoir, fin 1868, une somme de 120,427 fr., mais cette somme comprend 9,120 fr. qui restent à recouvrer, et 4,397 fr. d'espèces en caisse, qui sont nécessaires au service courant. Il ne reste donc comme ressource effective que les obligations que nous avons en portefeuille, obligations qui ont coûté 106,910 fr., mais qui aux cours actuels valent environ 110,000 francs.

Il faudra donc que nous empruntions le surplus, soit 90,000 fr.; opération qui, dans certaines conditions, suppose également une modification de nos statuts et qui peut soulever des difficultés de forme, en vue desquelles nous vous demanderons des pouvoirs spéciaux.

L'emprunt effectué à 5 p. 100 et le bâtiment achevé, voici quels seront les changements que notre budget subira :

Perte des intérêts du capital immobilisé, intérêts qui aujourd'hui figurent dans nos recettes.	5,000 fr.
Intérêts de 90,000 fr., capital emprunté	4,500
Ensemble.	9,500
Mais ce surcroît de charges sera atténué du chef de notre loyer, qui actuellement est de . . . . . mais qui, pour le dire en passant, subirait forcément une augmentation notable à l'expiration de notre bail.	4,400
L'excédant des charges sera donc net de.	5,100
Le produit présumé de l'augmentation de la cotisation étant, comme vous l'avez vu, de	9,600
il resterait disponible annuellement une somme de	4,500 fr.

soit 18 p. 100 de nos revenus actuels, pour faire face au surcroît de dépenses qu'il faut prévoir dans la nouvelle installation, pour chauffage, éclairage, concierge, etc., comme aussi, s'il se peut, pour l'extension ultérieure de nos publications.

Nous n'avons encore rien dit de l'amortissement de l'emprunt projeté. C'est qu'il nous semble qu'il suffit de jeter un coup d'œil sur la courbe ascendante de notre fonds inaliénable pour être rassuré à cet égard. On voit, en effet, que dans l'espace de six ans, de 1861 à 1867, l'avoir de la Société s'est accru de près de 40,000 francs, et que dans la seule année 1868, grâce à la munificence de feu M. Fourneyron et aux exonérations, l'accroissement a atteint 11,000 francs. On peut sans témérité espérer que sous ce rapport l'avenir ne restera pas en arrière du passé.

Comme nous vous proposerons plus loin de modifier les articles 24 et 25, de façon à ce que dorénavant le produit des admissions puisse être affecté aux dépenses courantes, l'accroissement ultérieur du fonds social semble, à la vérité, devoir se ressentir de cette mesure. Mais, d'une part, le produit en question n'est que de 1500 à 1800 francs par an, et de l'autre, il est évident qu'on n'y touchera qu'éventuellement en cas de besoin, éventualité que nous ne concevons que pendant la période de transition. Au fond, la situation restera donc ce qu'elle est.

Depuis le commencement du mois de décembre dernier, votre comité était décidé à vous convoquer en Assemblée extraordinaire pour vous exposer la situation que nous venons d'esquisser, et il eût vivement désiré que la question restât entière pour que vous pussiez en délibérer en toute liberté d'esprit; mais vers le milieu de janvier l'une des occasions dont vous a entretenus notre ancien Président, et qu'on croyait perdue à jamais, reparut tout à coup dans des conditions nouvelles et si séduisantes que le comité, convoqué d'urgence pour le dimanche 17 janvier, décida à l'unanimité moins deux voix qu'il fallait la saisir immédiatement, et usant des pouvoirs que lui confère l'article 26 des statuts, il fit l'acquisiton du terrain offert, consistant en l'un des lots mis en vente par la famille Hottinguer, d'une contenance de 199 mèt. Vous savez que la propriété en question est en train d'être transformée en une cité qui portera le nom de cité Rougemont, et vous verrez, par le plan annexé à ce rapport : qu'installés dans ce terrain, nous aurons des sorties sur la rue du Faubourg-Montmartre, par la cité Bergère, sur la rue Bergère et sur la rue Rougemont. Il n'est pas possible d'imaginer une position plus centrale, plus conforme aux habitudes de la Société, tout en étant à l'abri du bruit de la voie publique. Et ce terrain nous est cédé au prix de 350 fr. le mètre, précisément parce que la tranquillité qui nous attire éloigne et effraye le commerce. Nous espérons que vous partagerez la satisfaction que cette acquisition cause à votre comité, et qu'elle contribuera à vous

faire voter avec entrain l'augmentation des charges qui vous est proposée.

Cependant, si tel n'était pas votre avis, rien ne devrait vous empêcher de l'exprimer librement. La question est au fond moins engagée qu'elle ne paraît l'être au premier abord. Car des hommes spéciaux, en qui nous avons toute confiance, sont d'avis que quand les travaux de la nouvelle Cité seront un peu plus avancés le terrain acheté prendra une plus-value qui permettrait de le revendre non-seulement sans perte mais avec bénéfice. Nous devions vous montrer cette éventualité, tout en étant convaincus que vous la repousserez.

L'article 32 de nos statuts porte :

« Les statuts et le règlement de la Société peuvent être modifiés en « Assemblée générale, convoquée spécialement à cet effet, à la majorité « des deux tiers, plus une voix, des sociétaires présents; mais les modi- « fications ne sont exécutoires qu'après avoir reçu l'approbation de l'ad- « ministration supérieure.

« Toutefois, les modifications proposées doivent être préalablement « soumises à l'examen du comité, qui en fait l'objet d'une proposition « définitive à l'Assemblée générale. »

Cette marche, vous le savez, Messieurs, implique l'intervention du Conseil d'État.

Du moment que nous recourons à cette haute autorité pour obtenir la modification des articles relatifs à la cotisation et à la faculté d'emprunter, nous avons pensé que ce serait à la fois un acte de convenance et de bonne administration de modifier aussi l'article 21, qui, jusqu'à ce jour, par suite de la réserve de nos présidents honoraires, a privé le comité de leur concours actif et régulier, si éminemment désirable dans l'intérêt de la Société.

En résumé, Messieurs, nous vous demandons de voter les résolutions suivantes :

1° L'assemblée générale, vu l'article 32 des statuts, approuve la modification des articles 21, 23, 24 et 25 des statuts ci-après indiquée :

Ancienne rédaction.	**Nouvelle rédaction.**
ART. 21.	ART. 21.
La Société pourra décerner le titre de Président honoraire à un de ses Présidents, sur la proposition qui lui en sera faite par le Comité.	La Société pourra décerner le titre de Président honoraire à un **ou à plusieurs** de ses **anciens** Présidents, sur la proposition qui lui en sera faite par le Comité. **Les Présidents honoraires peuvent prendre part aux travaux du Comité avec voix délibérative.**

ART. 23.

Chaque Membre Sociétaire ou Associé doit payer :

1° Un droit d'admission fixé à la somme de 25 francs; ce droit pourra être augmenté par la suite;

2° Une cotisation annuelle fixée à **24** *francs.*

Cette cotisation annuelle peut, au choix de chaque membre, être remplacée par une somme de **400** *francs* une fois payée.

Les Membres honoraires sont exempts de tout droit de cotisation.

ART. 24.

La Société a un fonds social qui se compose :

1° **Des droits d'admission;**

2° Des sommes versées pour l'exonération de la cotisation annuelle;

3° Des dons faits par les Membres sociétaires, associés ou honoraires, et de tous autres dons ou donations qui, successivement, pourraient être faits à la Société.

Ce fonds social est inaliénable.

ART. 25.

La Société emploie pour ses dépenses :

1° L'intérêt du fonds social;

2° Les cotisations annuelles qui ne sont pas remplacées par la somme de **400** *francs* une fois payée;

3° Les produits accessoires résultant de l'application du Règlement.

ART. 23.

Chaque Membre Sociétaire ou Associé doit payer :

1° Un droit d'admission fixé à la somme de 25 francs; ce droit pourra être augmenté par la suite;

2° Une cotisation annuelle fixée à **36** *francs.*

Cette cotisation annuelle peut, au choix de chaque Membre, être remplacée par une somme de **600** *francs* une fois payée.

Les Membres honoraires sont exempts de tout droit de cotisation.

ART. 24.

La Société a un fonds social qui se compose :

1° Des sommes versées pour l'exonération de la cotisation annuelle;

2° Des dons faits par les Membres sociétaires, associés ou honoraires, et de tous autres dons ou donations qui, successivement, pourraient être faits à la Société.

Ce fonds social est inaliénable.

ART. 25.

La Société emploie pour ses dépenses :

1° L'intérêt du fonds social;

2° Les cotisations annuelles qui ne sont pas remplacées par la somme de **600** *francs* une fois payée;

3° **Les droits d'admission;**

4° Les produits accessoires résultant de l'application du Règlement.

2° Elle donne à son comité les pouvoirs les plus étendus pour obtenir du Gouvernement, s'il y a lieu, soit la faculté d'emprunter, soit celle de consentir hypothèque, comme aussi, pour inscrire cette faculté dans l'un des articles des statuts modifiés.

Après cette lecture, il déclare ouverte la discussion générale sur le rapport.

M. MALDANT reconnaît tous les inconvénients qui sont énumérés dans le rapport du Comité, et, quoique l'augmentation proposée de la cotisation lui paraisse de nature à soulever des objections, surtout de la part des membres qui sont éloignés de Paris, et n'assistent pas aux séances, il approuve ce rapport dans son ensemble et dans son

esprit général ; mais il ne saurait approuver de la même manière la distinction qui y est faite entre les membres qui payent leur cotisation par les annuités réglementaires de 24 francs et ceux qui l'ont payée en bloc par un versement de 400 francs. Il croit que les mesures proposées doivent profiter aux uns comme aux autres, et qu'à ce titre *les charges nouvelles doivent être également supportées par tous*. Il désirerait que la réunion prît une décision sur cette question.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que les statuts que l'on propose de modifier ont créé avec les membres qui se sont exonérés un traité sur lequel on ne peut revenir.

M. TRESCA appuie cette observation de M. le Président, il ajoute que ce traité a été soumis au Conseil d'État après un vote de la Société, et qu'elle-même n'en peut changer les termes.

La proposition de M. Maldant ne pourrait d'ailleurs, aux termes du règlement, être discutée en assemblée avant qu'elle n'ait été examinée auparavant par le Comité. Elle n'arrive pas en temps utile, et l'Assemblée ne peut s'en occuper.

M. DALLOT fait observer que ce serait là une interprétation trop étroite du règlement et que le Comité doit admettre la discussion de toutes les propositions qui pourront être soumises à la Société sur la question pour laquelle elle est réunie.

Une discussion s'engage à la suite de ces observations sur l'interprétation à donner au règlement.

UN MEMBRE fait observer que l'on n'a pas eu le temps d'étudier le rapport, ni de s'éclairer sur les diverses questions qu'il soulève.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que le rapport a été distribué dix jours à l'avance et qu'on a pu l'étudier.

Le Comité croit avoir fait les affaires de la Société le mieux possible ; il a examiné avec le plus grand soin les propositions qu'il soumet à l'approbation de l'Assemblée, et il espère qu'elles seront adoptées.

M. Henri LEPAUTE craint que le terrain destiné à la construction d'un nouveau local ne soit pas suffisant ; la forme, à peu près carrée, n'est pas favorable, et il demande si des plans ont été faits pour l'utilisation de l'emplacement.

M. CALLON indique qu'à une certaine époque on avait proposé un terrain qui avait 11 mètres sur 15 mètres, et on avait reconnu la possibilité de faire une construction convenable sur ce terrain. Nous disposons actuellement d'un terrain qui a 2 mètres de largeur de plus, et par conséquent nous serons bien plus à l'aise.

M. PETIET rappelle que des plans nombreux ont été faits sur des terrains de toutes formes et de toutes grandeurs, particulièrement pour un terrain de même dimension placé dans la cité Rougemont, symétriquement à celui que nous occuperons, et il a été reconnu que la surface acquise était suffisante. D'ailleurs, il y a deux écueils à éviter : le premier, celui qui vient d'être signalé par M. Lepaute, l'insuffisance. M. Petiet est d'avis que dans le cas actuel cet inconvénient n'existe pas ; l'autre serait d'avoir une surface trop grande, conduisant à faire une construction considérable, coûteuse, et dépassant de beaucoup les ressources de la Société, avec ce désavantage de n'être réellement utilisée que les jours de réunion extraordinaire.

La discussion générale est close, et M. le Président donne lecture de l'article 21 modifié après avoir rappelé les termes de l'article 21 actuel.

« La Société pourra décerner le titre de Président honoraire à un *ou à plusieurs*

« de ses anciens Présidents, sur la proposition qui lui en sera faite par le Comité.
« *Les Présidents honoraires peuvent prendre part aux travaux du Comité, avec voix* « *délibérative.* »

La rédaction nouvelle est adoptée à l'unanimité, moins une voix.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de l'article 23 modifié.

« Chaque membre sociétaire ou associé doit payer :

« 1° Un droit d'admission fixé à la somme de 25 *francs;* ce droit pourra être « augmenté par la suite ;

« 2° Une cotisation annuelle fixée à 36 *francs.*

« Cette cotisation annuelle peut, au choix de chaque membre, être remplacée par « une somme de 600 *francs,* une fois payée. »

M. PETIET, au sujet de cet article, rappelle l'observation faite par M. Maldant dans la discussion générale ; il déclare qu'il est impossible d'appliquer la rétroactivité, et que même, comme les nouvelles dispositions ne peuvent être en vigueur qu'après leur approbation par le Conseil d'État, les anciens statuts continueront à avoir force de loi pendant toute l'année 1869, qu'ainsi tous les membres pourront, s'ils le veulent, s'exonérer définitivement moyennant le versement d'une somme de 400 francs, avant le 1er janvier 1870.

M. DALLOT fait remarquer qu'il semble ressortir du rapport du Comité que le chiffre de la cotisation a été fixé d'après le montant des dépenses prévues ; or il croit que dans ces prévisions on n'a pas tenu compte des dépenses représentant un chiffre important, telles que celles pour les contributions.

En outre, dans l'estimation ne figure aucune somme à valoir destinée à faire face à l'imprévu, aux entraînements que l'on subit toujours lorsque l'on fait une installation nouvelle.

Selon M. Dallot, les dépenses annuelles seront augmentées d'au moins 3000 francs, et les dépenses d'installation de 30,000 francs absorbant 1,500 francs d'intérêt, de sorte que la somme de 4,500 francs, qui est indiquée comme devant faire face au surcroît de dépense, sera absorbée tout entière, et il ne restera rien pour l'extension ultérieure de nos publications, tandis que notre but devrait être de les développer le plus possible.

Avec 36 francs de cotisation, on restera à cet égard dans les conditions actuelles, et puisqu'on augmente la cotisation, ne vaudrait-il pas mieux la porter tout de suite à 40 francs ?

M. DALLOT demande la permission de dire en même temps quelques mots au sujet de la modification à l'article 25, modification qui consiste à faire entrer dans les fonds courants les droits d'admission, qui étaient versés auparavant au fonds inaliénable. Bien que la rédaction dise que l'on n'utilisera les droits d'admission pour les dépenses courantes que si cela est nécessaire, il voit là un acte de prodigalité que le Conseil d'État ne sanctionnera probablement pas. Il pense donc qu'il serait préférable d'augmenter la cotisation, et il propose de la porter à 40 francs.

M. DE BRUIGNAC fait observer que le rapport indique les différentes ressources dont disposera la Société ; dans ces ressources ne figurent pas celles provenant des droits d'admission, ce qui donne une certaine marge.

M. NORDLING insiste sur cette observation, et il indique que lorsque l'on a fait les calculs pour se rendre compte des dépenses et des recettes, on n'avait pas encore l'intention de faire entrer les droits d'admission dans les dépenses courantes.

M. Mayer rappelle que les 4,500 francs de ressources supplémentaires doivent être considérés comme devant faire face aux excédants des dépenses futures sur les dépenses actuelles et non pas à toutes les dépenses futures.

M. Callon ne pense pas que les prévisions puissent être dépassées comme l'indique M. Dallot; on fera des marchés dans les limites de la somme qu'on veut dépenser, et on n'en sortira pas.

M. Tresca croit que M. Dallot a bien fait de parler des deux articles à la fois; mais il lui fera remarquer que l'article nouveau n'oblige pas à dépenser nécessairement les recettes provenant des droits d'entrée. Le Comité a voulu seulement que la Société pût avoir recours à cette ressource en cas de besoin. Il n'y a pas acte de prodigalité comme le dit M. Dallot.

D'ailleurs, diverses personnes compétentes ont été consultées, et toutes ont reconnu que la mesure n'avait que des avantages et pas d'inconvénients. A un autre point de vue, il faut que la cotisation ne soit pas trop élevée pour laisser arriver nos jeunes camarades.

M. Dallot déclare persister dans sa proposition de porter à 40 francs le montant de la cotisation annuelle.

M. le Président pense qu'il convient de voter sur cette proposition qui est la plus large.

M. Tresca rappelle les observations qu'il a faites, au commencement de la séance, au sujet de l'article du règlement qui ne permet de porter à l'assemblée des sociétaires que les propositions qui ont été examinées par le Comité.

M. Callon appuie cette opinion.

Après une courte discussion au sujet de cette question de règlement et un appel de M. Nordling à M. Dallot pour qu'il retire sa proposition, M. le Président met aux voix la rédaction de l'article 23, telle qu'elle a été présentée par le Comité.

L'article 23 nouveau est adopté à l'unanimité moins quatre voix.

M. le Président lit l'article 24 nouveau.

« La Société a un fonds social qui se compose :

« 1° Des sommes versées pour l'exonération de la cotisation annuelle;

« 2° Des dons faits par les membres sociétaires, associés ou honoraires, et de tous « autres dons ou donations qui, successivement, pourraient être faits à la Société.

« Ce fonds social est inaliénable. »

Cet article est adopté à l'unanimité moins quatre voix.

M. le Président lit l'article 25 nouveau :

« La Société emploie pour ses dépenses :

« 1° L'intérêt du fonds social;

« 2° Les cotisations annuelles qui ne sont pas remplacées par la somme de « 600 *francs* une fois payée;

« 3° Les droits d'admission;

« 4° Les produits accessoires résultant de l'application du règlement. »

Cet article est adopté à l'unanimité moins trois voix.

M. LE PRÉSIDENT lit les propositions accessoires :

« Elle donne à son Comité les pouvoirs les plus étendus pour obtenir du Gouver-
« nement, s'il y a lieu, soit la faculté d'emprunter, soit celle de consentir hypo-
« thèque, comme aussi pour inscrire cette faculté dans l'un des articles des statuts
« modifiés. »

Ces propositions sont adoptées à l'unanimité moins quatre voix.

Enfin l'ensemble des dispositions est adopté à l'unanimité moins deux voix.

Il y avait 112 membres présents.

Séance du 5 Mars 1869.

Présidence de M. MICHEL ALGAN.

Le procès-verbal de la séance du 19 février est lu et adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société que M. Dieudonné, sous-ingénieur du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Est, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Achille Le Cler pour rendre compte de l'ouvrage de M. Nadault de Buffon.

M. ACHILLE LE CLER rappelle que la Société a bien voulu le charger de rendre compte de l'ouvrage de M. Nadault de Buffon intitulé : *Colmatage, limonage et irrigations d'hiver*. J'ai été heureux, dit-il, d'accepter cette mission qui me permet d'appeler votre attention sur l'une des plus intéressantes questions agricoles : l'utilisation des eaux courantes dans l'intérêt de la culture. C'est un grand chapitre du programme de génie rural que j'indiquais dans ma dernière communication.

M. l'Ingénieur en chef commence par exposer que l'arrosage des terres ne consiste pas exclusivement, comme on serait tenté de le croire, en *irrigations d'été*. Ces irrigations donnent d'excellents résultats dans des situations et sous des climats où leur emploi est indispensable, par exemple dans le nord de l'Italie.

Il y a aussi en France d'heureuses applications dans les irrigations méridionales; mais, en général, la situation hydrographique de notre pays conduit à des dépenses considérables pour l'exécution des canaux de dérivation, et les résultats sont rarement rémunérateurs pour les capitalistes qui entreprennent ces opérations. Les eaux manquent trop souvent en été, au moment où leur emploi devient nécessaire.

Aussi les principaux agriculteurs, sans renoncer aux avantages des irrigations d'été, ont-ils reconnu que c'est surtout en *hiver* et au *printemps* qu'ont lieu les irrigations les plus profitables. Le fait le plus concluant à citer dans ce sens est celui des vastes herbages de la Normandie, dont plus de 10,000 hectares sont entretenus dans le maximum de production par le seul effet des submersions naturelles appli-

quées *exclusivement en hiver*, l'irrigation d'été étant complétement inconnue dans cette région.

L'auteur est ainsi conduit naturellement à signaler les différents modes d'emploi des eaux d'hiver.

EMPLOI DES EAUX D'HIVER.

Cet emploi se réduit à trois opérations : 1° *Colmatage*. Ce procédé consiste à utiliser les limons charriés par les cours d'eau torrentiels et qui viennent combler de vastes marais ou bas-fonds insalubres et les transformer en terrains d'une grande fertilité.

M. Nadault de Buffon cite de nombreux exemples dont nous parlerons plus loin qui ont tous donné d'excellents résultats; ce qui est loin d'être, dit l'auteur, le cas habituel en matière de simple arrosage.

S'il m'est permis d'introduire un exemple *personnel*, j'ajouterai que les 600 hectares de polders que j'ai endigués sur le littoral de la Vendée forment une opération d'endiguement et de *colmatage*. Là, les limons nous ont été apportés par la mer, qui les a recueillis, en partie, à l'embouchure de la Loire. Nous avons obtenu dans nos polders des colmatages de 0m.50 à 1 mètre de hauteur, derrière nos digues submersibles; et la haute valeur des terrains constitués de cette manière est une confirmation des avantages à retirer d'un large emploi des alluvions artificielles.

Je vous demande pardon de cette parenthèse et je reviens au second emploi des eaux d'hiver.

2° *Limonage*. Il n'est pas toujours possible d'obtenir des colmatages d'une grande épaisseur. On emploie le plus souvent des couches minces, fournies par des limonages périodiques annuels ou bisannuels. Ces limonages produisent un puissant amendement. On peut obtenir des plus-values annuelles dans les récoltes, variant de 150 fr. à 400 fr. par hectare. Il faudrait de 15,000 kil. à 30,000 kil. d'engrais d'étable pour représenter une telle valeur.

Aussi est-ce aux limons du Nil que l'Égypte doit son inépuisable fertilité.

3° *Emploi des eaux non limoneuses ou irrigations d'hiver*.

Les eaux, même non limoneuses, renferment des principes fertilisants. On a reconnu, en effet, que les eaux courantes sont toujours plus ou moins riches en *sels minéraux*, tels que les carbonates et silicates alcalins, les phosphates, etc., sans compter des chlorures, des nitrates et d'autres principes empruntés aux régions supérieures de leur bassin. Ces substances peuvent se dissoudre en quantités notables dans l'eau plus ou moins combinée à l'acide carbonique et cela sans troubler sa limpidité.

On comprend alors quel immense parti on peut tirer de cette ressource, en quelque sorte illimitée, pour maintenir la fertilité des terrains agricoles. C'est ainsi qu'on explique le maintien indéfini de la fécondité des herbages de la Normandie, laquelle est représentée par une production d'environ 400 à 450 kilog. de viande à l'hectare, tandis qu'elle tombe immédiatement si ce mode de bonification leur est retiré.

EMPLOI GÉNÉRAL DES EAUX D'HIVER.

Nous venons de parcourir, avec M. Nadault de Buffon, les trois modes d'emploi des eaux d'hiver. Chacun d'eux correspond à des situations et à des besoins dif-

férents. En effet, les diverses zones à améliorer par ce moyen se divisent ainsi qu'il suit :

1° Vallées soumises à des *submersions naturelles;*

2° Terrains d'altitude moyenne pouvant recevoir par voie de dérivation des *submersions artificielles;*

3° Terrains élevées ou en pente, susceptibles de recevoir des *irrigations d'hiver*, à l'aide des mêmes rigoles que pour l'irrigation d'été.

En recherchant quelle pourrait être en France la superficie approximative des terrains compris dans ces trois catégories, M. Nadault de Buffon a trouvé qu'elle dépassait *six millions* d'hectares, c'est-à-dire près du quart des terres en culture réclamant des engrais ou amendements.

On voit donc qu'il s'agit d'un intérêt de premier ordre, et qu'il est bien désirable que le Gouvernement s'occupe de cette grande question d'un aménagement général des eaux s'étendant particulièrement aux utilisations spéciales qui viennent d'être indiquées.

Il serait utile que les 6 millions d'hectares désignés ci-dessus fussent indiqués avec des détails précis au point de vue de l'application; car il y aurait là un vaste champ pour les opérations agricoles. Mais il serait désirable qu'on montrât les dépenses à faire et les bénéfices à recueillir sur les divers points de la France, où ces travaux pourraient être entrepris avec avantage. Nous croyons savoir, du reste, que l'auteur continue ses recherches sur ce sujet, et pourra probablement bientôt en faire connaître les résultats.

Nous n'avons pu donner qu'un aperçu très-sommaire de l'ouvrage; il renferme de nombreux documents sur les travaux de colmatage, notamment : sur le dessèchement du *Val-de-Chiana* et des *Maremmes de Toscane;* sur les colmatages des vallées de l'*Arc* et de l'*Isère* (Savoie), et sur l'endiguement de la *rive gauche du Var* (Alpes Maritimes).

Des chapitres sont consacrés à chacune de ces opérations, et, en jetant un coup d'œil sur la table des matières, on trouve encore des chapitres spéciaux sur les *notions générales* et les *principes du colmatage*, sur le *dessèchement des marais insalubres*, sur la *vallée de l'Arve*, *la vallée de la Saône*, sur une application due à l'initiative privée dans le département de Vaucluse et sur les *marais roseliers*, etc. Un atlas accompagne l'ouvrage.

L'auteur donne aussi les détails d'exécution et les résultats agricoles obtenus par les travaux d'endiguement et de colmatage de la Basse-Seine, travaux qui, entrepris presque exclusivement dans l'intérêt de la navigation, ont eu pour conséquence immédiate la création spontanée de plus de 8,000 hectares d'excellentes prairies, conquises sur les bancs mobiles, et dont la valeur dépasse aujourd'hui 30 millions.

En un mot, l'auteur ne néglige pas une seule occasion de faire ressortir les immenses profits que, sous différentes formes, l'agriculture est appelée à retirer des submersions fertilisantes. Il ne s'est pas seulement occupé des procédés d'exécution, il a étudié les règlements et les lois qui régissent les desséchements et les colmatages. L'examen de ces questions, au point de vue légal et administratif, est fort utile, et nous espérons que les observations de M. l'ingénieur en chef engageront l'administration à diminuer les restrictions et les formalités qui entravent, le plus souvent, les entreprises analogues.

Nous serions heureux que ce compte rendu eût fait connaître à la Société des In-

génieurs civils l'importance de l'ouvrage de M. Nadault de Buffon, au point de vue de l'ingénieur et de l'agriculteur.

La Société renouvellera à l'auteur ses remercîments pour l'hommage de son excellent livre, et saisira cette occasion de manifester l'intérêt qu'elle porte aux entreprises agricoles.

M. LE PRÉSIDENT ouvre la discussion sur les compteurs secs et humides, et donne la parole à M. Maldant.

M. MALDANT rappelle la communication faite à la Société par M. Ball, à propos des *compteurs secs*, dans la séance du 21 août 1868. Il ajoute que, n'ayant pas assisté à cette séance, il avait demandé, dans celle du 4 septembre, à présenter des observations à ce sujet.

C'est à la suite de cette demande que la discussion a été maintenue à l'ordre du jour, et qu'elle arrive aujourd'hui.

M. MALDANT pense que la Société appréciera l'utilité de cette discussion et l'importance du sujet qui en est l'objet. Les *compteurs à gaz*, en effet, sont les seuls instruments qui servent de contrôle entre acheteurs et vendeurs; c'est-à-dire, qui servent à mesurer une marchandise qui se vend aujourd'hui par *centaines de millions* de francs, et dont la consommation est en progression continue.

M. Ball, avec une habileté que M. Maldant se plaît à reconnaître, s'était efforcé de démontrer à la Société que les *compteurs secs* étaient des instruments plus parfaits que les *compteurs humides;* et il concluait, en disant : qu'en Angleterre les compteurs humides étaient presque complétement abandonnés, et en s'étonnant qu'en France, au contraire, ils fussent à peu près exclusivement adoptés.

Dans cette même séance du 21 août, notre habile collègue, M. Arson, dont chacun connaît la compétence dans toutes les questions qui touchent à l'industrie du gaz, avait déjà réfuté une partie des affirmations produites, et pris la défense du compteur humide, dont la *supériorité* sur le compteur sec paraît à M. Maldant non-seulement incontestable mais encore *incontestée*, aussi bien en Angleterre qu'en France.

M. MALDANT n'a pas l'intention de faire une communication sur les compteurs, ni d'entrer dans l'examen des détails comparatifs des deux systèmes en présence, à moins que la Société et M. Ball ne désirent porter la discussion sur ce terrain; il se bornera donc, pour le moment, à des considérations générales :

Diverses expériences contradictoires, proposées par M. Ball, ont été faites dans son laboratoire en présence de M. Maldant; les résultats obtenus, déjà parfaitement connus des expérimentateurs, n'ont paru rien changer à leur manière de voir; seulement, M. Maldant a rapporté de sa visite et de ses conversations avec M. Ball cette conviction, qui ne sera certainement pas démentie, que M. Ball lui-même considère le compteur humide comme étant *plus exact* et *plus parfait* que le compteur sec, lorsqu'il est bien *réglé et nivelé*.

Ce point important étant bien admis, la discussion pourrait se resserrer beaucoup : elle se bornerait à examiner si les difficultés de réglage et de nivellement ont les inconvénients que leur a attribués M. Ball, et si les compteurs secs, reconnus plus imparfaits en principe, n'ont pas eux-mêmes des causes de dérangements plus graves et plus nombreuses.

Le reproche le plus sérieux que M. Maldant se sentirait entraîné à faire à la communication de M. Ball, c'est surtout d'avoir basé l'*apologie* qu'il a faite du compteur

sec sur le dénigrement des compteurs humides; c'est aussi d'y voir adoptés ces arguments affirmatifs et pourtant inexacts, qu'on trouve reproduits dans un grand nombre d'articles de journaux.

M. MALDANT donne lecture d'un de ces articles, extrait du *Moniteur des intérêts matériels* du 9 janvier 1869, où il est dit ce qui suit :

« Il est à remarquer qu'en France on continue à se servir du compteur à eau malgré ses inconvénients, et qu'en Angleterre, Amérique, Hollande, Norwége, etc., le compteur sec est pour ainsi dire exclusivement adopté.

« Les anciens adversaires du compteur sec se sont convertis. Nous pouvons citer l'exemple de *Barlow*, l'un des ingénieurs gaziers les plus connus en Angleterre, et qui, *après avoir longtemps hésité*, après avoir voulu voir par lui-même et pendant longtemps les faits, *s'est entièrement rallié* au compteur sec qu'il fabrique maintenant comme ingénieur de la maison Croll Rait the Gas meter and C°, et qui écrivait le 6 septembre 1864, dans le *Journal of gas lighting* : « Qu'il était singulier que « la COMPAGNIE PARISIENNE, si disposée à admettre tous les progrès, n'eût pas encore « adopté le compteur sec, maintenant si avantageusement connu et depuis si long- « temps. »

De telles *affirmations*, si elles étaient prises au sérieux, au lieu d'être démenties par *les faits*, risqueraient fort d'entraîner beaucoup de personnes, en France, à changer leur système actuel de compteur; et, si l'on ne peut pas dire que le compteur humide soit *absolument* parfait, son échange contre le système sec serait certainement l'échange d'un cheval borgne contre un aveugle.

D'ailleurs, l'opinion de M. Barlow dans une telle question a trop d'importance, dit M. Maldant, pour que je n'aie pas cherché à savoir s'il avait réellement la *conviction* qu'on lui prête, et sur laquelle s'appuient les défenseurs du compteur sec; or, j'ai eu occasion de m'en entretenir récemment avec M. de Morgny, inspecteur de la Compagnie Parisienne, qui m'a donné verbalement et par écrit la déclaration suivante :

« On me rapporte que M. Ball a invoqué, à la Société des Ingénieurs civils, l'autorité de M. Barlow, et qu'il a mis *à son compte* un article du *Journal of gas lighting*, où le compteur sec est favorablement jugé. Laissez-moi vous *déclarer* que M. Barlow, que j'ai vu récemment en Angleterre, *n'a pas changé d'opinion* sur le compteur sec; qu'il persiste à le trouver *capricieux* et *variable* dans ses indications.

« Quant à l'article du *Journal of gas lighting*, dont il a été fait une si grande réclame, *il n'est nullement dû à M. Barlow*, et ne porte point sa signature; je puis même vous assurer qu'il n'a été inséré que moyennant finance, et aux mêmes conditions qu'aurait pu l'être toute rédaction contraire aux compteurs secs.

« Que l'on applique à la vérification des compteurs secs, me disait M. Barlow, un règlement spécial en vertu duquel ces compteurs seraient essayés avec leur *minimum* et leur *maximum* de pression et de dépense, au lieu de les vérifier comme le sont les compteurs hydrauliques, et alors les 3/4 des compteurs secs, qui sont admis aujourd'hui par les vérificateurs anglais et français, seront certainement *refusés* au poinçonnage. »

L'affirmation relative à l'adoption presque exclusive des compteurs secs, en Angleterre, en Amérique, en Hollande, en Norwége, etc., *n'est pas plus exacte* : la vérité est que la vogue, dont en effet les compteurs secs ont joui pendant quelque temps, *n'a pas été justifiée par l'expérience;* et qu'aujourd'hui la fabrication des

compteurs humides, dans les pays précités, a repris toute son activité et dépasse de beaucoup celle des compteurs secs.

Si l'on veut d'ailleurs par un document *officiel*, dit M. Maldant, connaître l'opinion des ingénieurs *anglais* chargés de l'inspection du gaz, dans la ville de Londres, on la trouvera nettement exprimée dans le fragment ci-après, extrait du *Rapport officiel* présenté au *gouvernement anglais* par la Commission des ingénieurs chargés de l'inspection des appareils photométriques et de la vérification du pouvoir éclairant du gaz dans la ville de Londres.

Cette Commission, après avoir énuméré et défini les divers appareils dont les chambres d'essais devront être munies, s'exprime ainsi au sujet des *compteurs* :

« Aucun système de compteur à gaz, AUTRE que le compteur hydraulique (ou humide), ne sera employé dans les vérifications du pouvoir éclairant, qui seront faites conformément aux dispositions du présent arrêté. »

On trouvera ce rapport imprimé tout au long dans le *Journal of gas lighting*, du 5 janvier 1869.

Le reproche adressé à la plus grande compagnie gazière du monde, à la Compagnie parisienne, n'est donc nullement justifié. Nous savons, au contraire, à quels hommes éminents sont confiés les intérêts de cette Société prospère, et nous connaissons tout le soin qui y est apporté à l'étude approfondie de toutes les questions qui intéressent l'industrie du gaz.

Aussi, n'est-ce pas à la légère, comme on pourrait le faire supposer, que la Compagnie parisienne (que presque toutes les sociétés gazières prennent, avec raison, pour modèle) n'a pas adopté les compteurs secs : elle a fait des expériences répétées et sérieuses des deux espèces de compteurs, et c'est en pleine connaissance de cause qu'elle conserve les compteurs hydrauliques.

M. MALDANT appuie ses affirmations par la lecture de divers passages d'un *rapport* très-détaillé de l'inspecteur de la Compagnie parisienne chargé de la vérification des compteurs, rapport dans lequel il est rendu compte de divers *essais pratiques*, faits chez des abonnés, d'une certaine quantité de compteurs secs accouplés, comme vérification, à des compteurs humides exceptionnellement surveillés et entretenus comme parfaite exactitude.

Le résultat de ces essais, dont plusieurs ont duré plus de trois ans, est *défavorable* aux compteurs secs : ainsi on y voit que *pas un seul* des compteurs secs essayés n'a donné d'indications durables exactes, et que la plupart des variations constatées étaient tantôt *en plus*, tantôt *en moins*, comme dans les quelques exemples suivants :

« Le troisième compteur sec de trois becs, placé dans la deuxième section, d'octobre 1864 à juillet 1866 (soit pendant 21 mois), a fonctionné : 1° exactement pendant quatre mois; 2° avec un écart *en plus* de 33 mètres cubes pendant six mois; 3° avec un écart *en moins* de 158 mètres cubes pendant 11 mois.

« Le sixième compteur sec de 3 becs, placé dans la 5me section, d'octobre 1864 à décembre 1867 (soit pendant 38 mois), a fonctionné : 1° sans écart, jamais; 2° avec écart *en plus* d'un mètre cube pendant un mois; 3° avec écart *en moins* de 260 mètres cubes pendant 37 mois, etc., etc. »

M. CH. LAURENT demande sur quelles quantités totales portent ces chiffres.

M. MALDANT répond que le rapport ne fait pas mention des quantités de gaz ayant passé par les compteurs.

Dans le rapport précité, il est aussi fait mention de l'opinion d'un des plus habiles

directeurs d'usines de France, opinion, dit M. Maldant, dont les hommes compétents feront un très-grand cas : M. Fessard, directeur de l'usine de Nantes, avait été chargé d'acheter 300 *compteurs secs* de 3 becs, et de les soumettre à une étude et à des essais particuliers. Le résultat de ces expériences, dit le rapport, a été l'affirmation, par M. Fessard, que le fonctionnement de ces 300 compteurs *attestait* leur *évidente infériorité;* et qu'il avait trouvé dans les inconvénients de plusieurs sortes, relevés et constatés, un motif assez puissant pour obtenir de la Municipalité de Nantes, relativement aux compteurs de 3 becs *non poinçonnés* (par suite d'une condition particulière récemment exigée par la Préfecture de la Seine), une *exception* à l'une des clauses formelles de son Traité.

M. MALDANT ajoute que ces citations, qu'il lui serait facile de multiplier, lui paraissent suffisantes pour la complète édification de la Société, en ce qui touche le mérite et les avantages relatifs des compteurs secs et humides.

M. LE PRÉSIDENT dit que dans les précédentes communications il a certainement été fait mention des considérations qui peuvent différencier les deux systèmes, mais elles ne sont point rappelées dans la communication de M. Maldant, et M. le Président pense qu'il serait bon en général d'insister sur les points techniques, auxquels nos publications sont particulièrement destinées, et de donner, dans le cas spécial, des indications pratiques sur les défauts des divers compteurs.

M. MALDANT répond qu'il a déclaré, en commençant ses observations, que son intention était de se borner à présenter des considérations générales, de nature à démontrer la supériorité des compteurs hydrauliques sur les compteurs secs; mais qu'il était à la disposition de la Société et à celle de M. Ball, si on désirait donner à la discussion un caractère plus détaillé et technique. Il ajoute qu'une des causes principales des indications inexactes et capricieuses qu'il a signalées dans les compteurs secs tient surtout à ce que les *espaces mesureurs*, dans ces compteurs, sont en grande partie formés de membranes souples en cuir, essentiellement *variables* de capacité selon les températures, les pressions d'entrée et de sortie du gaz, l'état du cuir, les condensations liquides qui s'amassent à la partie inférieure de la membrane de cuir, etc.; tandis que les espaces mesureurs des compteurs humides sont presque complétement métalliques, et, par suite, à peu près fixes et invariables.

M. LE PRÉSIDENT trouve alors que la construction des compteurs humides a fait beaucoup de progrès; il s'est occupé autrefois de ces appareils, et à cette époque ils étaient loin d'être aussi parfaits qu'ils le seraient aujourd'hui d'après le dire de M. Maldant.

M. BALL en prenant la parole commence par remercier M. Maldant de la communication complète qu'il vient de présenter à la Société et qui l'a d'autant plus agréablement surpris que, à sa dernière entrevue avec M. Maldant, il avait été convenu que le sujet ne serait absolument qu'effleuré. Il demandera donc l'indulgence de la Société, car, en raison même de cette surprise, il est mal préparé à répondre. Et tout d'abord il regrette que son honorable adversaire ait cru devoir porter la question sur le terrain commercial, et fatiguer l'attention des membres par des détails peu scientifiques sur les moyens qu'emploient l'une et l'autre fabrication pour étendre leurs débouchés. La critique qu'il a faite de certains articles de journaux paraît entièrement inopportune, et d'autant moins fondée qu'il n'a remplacé les assertions qui lui paraissaient inexactes que par les siennes propres, lequel procédé est peut-être un peu sommaire.

Avant de quittter ce terrain qui lui répugne, pour entrer dans les considérations

scientifiques qui lui paraissent seules dignes de la Société, M. Ball ne peut laisser passer la protestation que M. Maldant a faite sur l'autorité de M. de Morgny, inspecteur de la Compagnie parisienne, contre un extrait cité par lui, et qui se trouve dans un journal de Gaz, anglais. — Dans les quelques lignes que M. Maldant cite, il est dit que l'article incriminé n'a été inséré qu'à prix d'argent. — M. Ball laisse toute la responsabilité d'une pareille assertion à ceux qui la font, mais il considère ce genre d'insinuations comme regrettable, et aussi dangereux qu'une arme à deux tranchants. — Si M. Barlow doit être mis en cause, il paraît inutile de faire passer ses opinions par un chenal aussi long que celui qui a été employé, et qui ne comporte pas moins de trois ou quatre étapes. — Ceci dit une fois pour toutes, — M. Ball va reprendre aussi rapidement que possible les arguments de M. Maldant. Et d'abord répondant à ce que M. Maldant a dit de l'opinion de M. Arson, M. Ball croit que son adversaire y voit ce qui n'y est pas. — Le texte du procès-verbal porte, en effet, que notre éminent collègue avait suivi des essais anciens, fabrication Mauby, et que la difficulté principale était le desséchement des cuirs. — Or il n'est pas question de mesurage exact ou non, — et M. Ball a eu le plaisir de recevoir le lendemain M. Arson dans son laboratoire et de lui faire voir sur un compteur humide de trois becs, pris au hasard, une variation de 17 pour 100 avec maximum d'eau, et une absence totale de mesurage, en retirant une certaine quantité de liquide. Si ces conditions satisfont M. Maldant, elles ne paraissent pas satisfaisantes à M. Ball.

Toute la divergence d'opinion entre M. Maldant et M. Ball se résume en ceci : M. Maldant considère les appareils comme restant en pratique dans les conditions d'exactitude théorique, tandis que M. Ball croit au contraire qu'il se produit de notables déréglements.

L'exactitude des compteurs humides dépend de la constance de l'égalité de niveau du plan d'eau, et chaque instrument porte deux appareils destinés à combattre les variations, le *flotteur* et le *siphon*. Le flotteur entraîne une soupape en descendant avec l'eau lorsque c'est l'évaporation qui prédomine, de sorte qu'à une certaine limite l'arrivée du gaz étant interrompue, l'éclairage cesse, et le consommateur est averti énergiquement que l'appareil est déréglé. Le syphon est un tube en Y qui reçoit le gaz par une de ses branches et l'envoie dans le compteur par l'autre. Ces branches atteignent le niveau supérieur extrême auquel on désire limiter l'élévation du plan d'eau ; si l'eau dépasse ce niveau elle entre dans le syphon et le noie : l'abonné est alors averti, et aussi énergiquement que dans le cas précédent du dérangement du compteur. Or, entre ces deux points extrêmes, il existe une certaine latitude aux dénivellations du plan d'eau, et cette latitude se traduit par un écart qui peut aller jusqu'à 15° dans les petits compteurs. Aussi la Ville de Paris a-t-elle refusé d'admettre au poinçonnage du contrôle les compteurs humides du plus petit modèle, dit de trois becs.

Outre ces écarts inhérents à la construction même de l'appareil, il peut en survenir d'autres provenant du manque de fonctionnement des diverses pièces; ainsi, par exemple, la tige du flotteur pouvant se rouiller ou se couvrir d'incrustations, celui-ci ne règle plus rien du tout.

M. Maldant a beaucoup insisté sur certaines expériences faites sur des compteurs secs par la Compagnie parisienne. Il a cité des divergences, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, mais ayant négligé les chiffres totaux, il n'a pas démontré grand'chose, vu qu'il est impossible de savoir si la variation est de 1 pour 100 ou de plus. — En outre, on a pris du compteur à eau, dans ce cas, des soins vraiment paternels,

le niveau étant refait tous les deux jours, ce qui indique bien la confiance que l'on avait en lui; — enfin, les compteurs secs ayant été mis les premiers dans des pièces très-chaudes, il était très-naturel que les compteurs humides, placés les seconds, et mesurant un gaz sensiblement réchauffé, donnassent des indications un peu plus fortes. — L'opinion de M. Fessard, de Nantes, a aussi été mise en jeu; M. Ball ne veut pas la discuter, il désire faire remarquer néanmoins que la Compagnie européenne dont dépend M. Fessard se sert considérablement de compteurs secs.

M. Maldant répond qu'évidemment la face de l'espace mesureur représentée par le plan d'eau est mobile selon la pression qu'elle supporte; mais que les essais et le *poinçonnage* des compteurs humides sont précisément faits, pour cette cause, pendant que la pression du gaz s'exerce dans le compteur.

M. Maldant rappelle qu'il n'a jamais dit que le compteur humide fût un instrument *absolument* parfait; il s'est borné à démontrer que, selon lui, il l'était *beaucoup plus* que le compteur sec.

Ce point capital ne lui semblant pas sérieusement contesté, et étant dans son opinion et dans l'état actuel des choses tout à fait incontestable, il comprend parfaitement les diverses critiques adressées par M. Ball aux compteurs humides; il ne reproche à ces critiques que leur *exagération*. Ainsi, de ce fait : que le fonctionnement d'un compteur hydraulique est arrêté quand le niveau de l'eau s'élève ou s'abaisse dans une limite extrême représentant un écart possible de 5 à 8 p. 100 environ, et non de 15 à 20 p. 100 comme le dit M. Ball, il ne s'ensuit pas, le moins du monde, que les indications de ces compteurs ne doivent être considérées comme justes qu'à 5 ou 8 p. 100 près.

D'un autre côté, ce que M. Ball considère comme un *inconvénient*, à savoir que le compteur humide ne laisse plus passer de gaz quand son niveau d'eau, abaissé ou surélevé, *ferme la soupape* ou *noie le siphon;* ce fait est, selon M. Maldant, un de ses plus sérieux *avantages* sur le compteur sec qui, lui, peut se dérégler complétement sans que rien prévienne de son dérangement.

Dans tous les cas, la mise en marche d'un compteur humide, arrêtée par une des causes ci-dessus, se fait avec la plus grande facilité, par le retrait ou l'addition de l'eau superflue ou nécessaire, et elle sert souvent d'indication utile pour assurer, à l'avenir, la marche régulière et normale du compteur.

L'obligation de vérifier ou d'entretenir mensuellement le niveau de l'eau est-elle un inconvénient grave ou sérieux? est-elle au contraire, comme le pensent beaucoup de gaziers, un avantage? Certes, M. Maldant croit que chacun peut former aisément sa conviction à cet égard, en songeant que c'est le même agent qui, en venant relever la *dépense* du compteur, en vérifie en même temps le niveau, en présence du consommateur; et en songeant aussi que les conditions dans lesquelles le compteur a fonctionné, depuis la dernière vérification, sont facilement appréciées soit par la constance du niveau, soit par son inconstance en plus ou en moins.

M. Maldant ajoute qu'une erreur assez grave, qu'il doit aussi relever, a été commise dans l'appréciation qu'on a faite des causes qui font actuellement refuser au poinçonnage les compteurs humides de 3 *becs*. Ce n'est *nullement*, comme on l'a dit, parce que ces compteurs *ne marchent pas bien* qu'on ne les poinçonne plus; mais *seulement* parce qu'un récent *arrêté préfectoral* (avril 1866) a interdit l'usage, à Paris, de compteurs n'ayant pas au moins, au tube de niveau, au siphon et au tube de l'arbre vertical, une *garde d'eau de dix centimètres*. Or, la dimension des compteurs de 3 becs ne leur permettant pas cette *garde d'eau* réglementaire, on a dû cesser,

pour cet unique motif, de les fabriquer *pour Paris;* mais les constructeurs continuent à les faire, sans les dix centimètres de garde, pour tout le reste de la France.

M. Ball a dit qu'en France on ne fabriquait pas de *compteurs secs*, M. Maldant dit qu'il ne peut pas non plus laisser passer cette affirmation sans réplique. Tous les bons fabricants de Paris font des compteurs secs pour les clients qui leur en demandent; et M. Maldant fera un peu violence à sa conviction, en disant *seulement* que cette fabrication n'est inférieure, *en rien*, à la fabrication anglaise.

On fait quelquefois, dit M. Maldant, des reproches *exagérés* à ses adversaires, qui servent mal la cause qu'on veut défendre; ainsi, tout le monde a pu voir, dans les exhibitions des fabricants anglais de compteurs secs, à l'Exposition universelle, des *volants* de compteurs humides de 3 et 5 becs, *en* TÔLE, complétement perforés de rouille. Il est naturel de penser que ces compteurs humides n'avaient pu être faits que par des fabricants *de compteurs secs*, car nous savons tous que les volants des compteurs humides de ces dimensions se font en *étain*, et jamais en tôle, et il en est ainsi quand on dit que la tige du flotteur (en étain), pouvant *se rouiller*, celui-ci ne règle plus rien du tout.

M. LAURENT pourrait citer un atelier où, en ouvrant en grand un robinet placé près du compteur, l'éclairage augmente, bien que le compteur n'indique pas d'augmentation du volume consommé.

M. BALL explique ce fait en disant que le degré d'ouverture du robinet en question produit alors une différence de pression, et non une différence dans la quantité de gaz consommé; or, le compteur n'est pas sensible à la différence de pression.

M. DE BRUIGNAC demande si, dans leurs visites mensuelles, les vérificateurs ont à faire des règlements importants au niveau de l'eau des compteurs, ou si cette visite est en général une simple précaution.

M. BALL répond qu'il a déposé à la Société des plaques de compteurs de 3 becs, où des lignes horizontales formées par des traces de rouille et de dépôts indiquent que les appareils ont fonctionné longtemps avec des plans d'eau bien différents, et les écarts correspondants aux dénivellations extrêmes sont de 20 p. 100. Il est vrai que le compteur de 3 becs est le plus imparfait des compteurs humides.

M. MALDANT dit que la demande de M. de Bruignac lui paraît excellente, et qu'il a été mis à même d'y répondre par les agents mêmes qui ont surveillé les essais faits; en effet, la surveillance incessante à laquelle ont été soumis, pendant les expériences dont il a parlé, les compteurs humides destinés à contrôler les compteurs secs, n'était, en réalité, qu'une mesure exagérée de précaution ayant pour but de ne risquer aucune erreur d'appréciation, et de faire des constatations d'une précision absolue.

Plusieurs Membres demandent ce qu'on a fait pour diminuer ou supprimer les inconvénients possibles de la variabilité du niveau d'eau.

M. MALDANT dit qu'il a été pris, pour atteindre ce but, un nombre considérable de brevets, la plupart basés sur le même principe, celui, si connu de la *bouteille renversée des oiseaux;* que ces essais divers, dont plusieurs cependant se continuent en ce moment, ont été successivement abandonnés dans la pratique, à cause surtout des difficultés qui naissent des *oscillations* fréquentes et des variations des niveaux d'eau, résultant des variations des pressions du gaz à l'*entrée* et à la *sortie* des compteurs.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que soit avec l'un, soit avec l'autre compteur, il

manque toujours au consommateur un moyen facile et pratique de vérifier à un moment voulu l'exactitude de l'appareil qu'il a entre les mains.

M. Ball convient que le compteur humide avertit s'il est déréglé, mais c'est par un moyen énergique. Avant d'en arriver là, l'appareil peut quelquefois marquer une consommation plus grande que la dépense réelle, il peut aussi ne rien marquer, tandis que le compteur sec, au contraire, ne peut que favoriser le consommateur. La Compagnie a un moyen simple de vérifier l'appareil, en le retournant, et voyant si alors la dépense d'un seul bec en veilleuse est indiquée par le compteur.

La vérification des compteurs humides se fait en Angleterre, non-seulement en remplissant l'appareil au niveau normal, mais encore en l'emplissant aux deux niveaux inférieur et supérieur. Il faut alors que l'écart total soit au-dessous de 5 pour 100. A Paris, on se contente du seul essai au niveau normal, et l'écart aux niveaux extrêmes est certes plus grand que 5 pour 100.

M. Brull, voyant que la discussion a repris une allure véritablement technique, dit qu'en résumé le compteur hydraulique serait parfait si l'invariabilité du niveau de l'eau était assurée, et il demande s'il n'y aurait pas là d'application à faire des divers principes de la physique. Déjà une foule de brevets de toutes sortes ont été pris à ce sujet appliquant tous ces principes, mais sans succès pratique jusqu'à ce jour.

Un Membre a remarqué à l'Exposition une disposition ingénieuse composée d'un flotteur ayant la forme d'un demi-tambour creux, tournant autour d'un axe horizontal, immergé dans l'eau, et d'une densité n'étant que le moitié de celle de l'eau. Il en résulte qu'une partie du tambour émerge jusqu'à ce que l'effort dû à la gravité agissant sur la partie émergente fasse équilibre à l'effort dû à la poussée éprouvée par la partie immergée. Lorsque la quantité d'eau varie, cet équilibre est détruit, et le flotteur s'immergeant davantage rétablit le niveau primitif.

M. Ball dit que cet appareil, inventé en 1858, est en effet très-ingénieux, théoriquement parfait, mais n'a pas donné en pratique de bons résultats; les axes s'usent, les surfaces se recouvrent de dépôt, et les conditions d'équilibre sont entièrement troublées.

M. Peligot dit qu'à son avis le compteur humide a l'avantage de prévenir s'il marche ou non, et cela dans certaines limites d'écart.

M. Maldant répond que les compteurs humides sont des instruments très-ingénieusement combinés, et *très-sensiblement exacts;* que, dans les cas des plus graves perturbations, leurs indications ne peuvent pas varier, en plus ou en moins, de plus de 3 à 5 p. 100; puisque dans ces limites extrêmes, ainsi que M. Ball l'a démontré lui-même, le compteur s'arrête.

M. Maldant croit devoir ajouter que la manière dont se font la vérification et le *poinçonnage* des compteurs doit donner une entière sécurité, et ne peut laisser de doute sur l'exactitude des indications fournies par leur mouvement d'horlogerie, tant qu'aucune cause accidentelle ne vient changer leur niveau. Ainsi *tout compteur,* avant d'être livré et poinçonné, est placé entre un *gazomètre* à cloche jaugée et très-exactement gradué, et un *compteur contrôleur* d'une exactitude complète vérifiée à chaque essai : dans ces conditions, le gaz circule dans les *trois appareils* avec un débit correspondant à la force du compteur expérimenté; et celui-ci n'est revêtu du poin-

çonnage que lorsque ses indications sont conformes, *à moins d'un pour cent* près, avec celles du gazomètre et du compteur contrôleurs.

M. Ball désire, en finissant, arriver à des conclusions que M. Maldant et lui sont d'accord sur un point, c'est que le compteur humide peut être très-exact dans des conditions de laboratoire : nivelage très-fréquent, horizontalité bien maintenue, pression invariable, etc. Mais que là où leurs opinions divergent, c'est lorsque M. Maldant affirme que c'est toujours ainsi que les choses se passent, tandis que M. Ball pense que ce cas favorable ne se présente presque jamais. Enfin M. Maldant a fait l'éloge du poinçonnage de la préfecture, et M. Ball est heureux de pouvoir se joindre à ces éloges. — Mais il n'en est pas moins vrai que, comme l'essai des compteurs humides n'a lieu que dans des conditions de laboratoire ci-dessus mentionnées, cela ne prouve rien en pratique. Le compteur essayé devant M. Arson variait de 17 pour 100 en trop à 100 pour 100 en moins; celui de M. Maldant lui-même, essayé sous ses propres yeux, pouvait passer de 12 pour 100 en trop à 100 pour 100 en moins. — Toute la question est là? Les conditions nécessaires pour qu'un compteur humide demeure exact se présentent-elles dans la pratique? M. Maldant dit oui, M. Ball dit non.

MM. Chrétien, Daburon, Demimuid, Dru, Dupont, Grand fils, Perrault, Rigollot et Voyaeck ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 19 Mars 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

Le procès verbal de la séance du 5 mars est adopté.

M. Maldant demande à présenter quelques observations sur le procès-verbal de la séance précédente.

Il trouve des observations nouvelles, non produites à la séance, dont il n'a eu connaissance que par la lecture du compte rendu qu'il n'a reçu, d'ailleurs, que peu d'instants avant la séance d'aujourd'hui.

M. le Président fait observer que c'est précisément la révision des épreuves du compte rendu, par les auteurs mêmes des communications, qui cause le retard; mais il pense qu'il vaut mieux continuer à procéder ainsi que de s'exposer à de trop nombreuses demandes de rectifications. — Quant à celle qui se produit en ce moment, elle lui paraît surtout faire ressortir la difficulté de faire porter les discussions sur des éléments qui ne sont pas toujours techniques.

M. le Président a déjà fait entrevoir cette crainte à M. Maldant à la précédente séance. Dans sa pensée, le procès-verbal a reproduit assez fidèlement le débat; d'ailleurs chaque dire est mis sous le nom de l'auteur et n'engage en rien la Société. M. le Président donnera très-volontiers la parole pour revenir sur les points tech-

niques, mais non pour revenir à la production de pures affirmations de part ou d'autre.

M. MALDANT ne veut parler absolument que de ce qu'il considère comme des inexactitudes sérieuses. Il rappelle ainsi notamment que c'est lui qui a parlé le dernier à la séance, tandis que le procès-verbal imprimé fait suivre ses paroles d'un long paragraphe de M. Ball [1].

M. MALDANT dit qu'il essayera de se conformer aux recommandations de M. le Président, en ne répondant qu'aux assertions nouvelles introduites par M. Ball dans sa rédaction du procès-verbal de la séance du 5 mars; et en se contentant de regretter, d'une manière générale, les expressions de « *surprise, insinuations, fatigue, procédé sommaire* », etc., dont il n'avait pas été dit un mot dans la séance.

Parmi ses *nouvelles* affirmations, M. Ball dit : qu'il était *convenu*, avec M. Maldant, que celui-ci ne ferait qu'*effleurer* le sujet en discussion.

M. MALDANT dit que cette affirmation est *inexacte* et regrettable.

Au sujet de l'opinion de M. Barlow, dont il a été question, M. Ball dit : que M. Maldant n'a remplacé ses affirmations que par *les siennes* propres (à lui Maldant).

M. MALDANT rappelle qu'*au contraire* il n'a fait *aucune* affirmation *personnelle* à cet égard; mais qu'il a produit une lettre authentique et signée, établissant le fait dont il a parlé.

Relativement à l'interprétation nouvelle que M. Ball donne à l'opinion de M. Arson, M. Maldant dit que M. Arson, qui est l'un des ingénieurs en chef les plus distingués de la Compagnie parisienne, ne peut ignorer les résultats *déplorables* des expériences faites, par cette Compagnie, sur les compteurs secs; et qu'il se croit en parfaite communauté d'opinion, sous ce rapport, avec M. Arson.

Une des additions intercalées dans la rédaction de M. Ball, dit M. Maldant, est celle qui semble indiquer que les *variations* constatées par les expériences relatées dans la discussion pourraient ne représenter qu'un écart d'environ 1 pour 100. M. Ball dit, en effet (page 68) : « que M. Maldant n'a pas démontré grand'chose, et « qu'il est impossible de savoir si la variation est de 1 pour 100 ou de plus. »

M. MALDANT déclare qu'il a souvent vu constater, dans des compteurs secs, des variations *dépassant* 25 à 30 pour 100; et que, si l'on prend seulement la *première expérience* qu'il a citée (*expérience authenthique*), il est facile d'en déduire un chiffre de variation *très-approximatif*. Ainsi, ce compteur étant de trois becs et ayant accusé 158 *mètres cubes* en moins pendant onze mois, si nous supposons que, pendant ce temps, la dépense ait été normale, soit environ 360 litres par heure, pendant cinq heures par jour, nous trouvons que l'indication de dépense fournie par le compteur sec en question représenterait un *écart de plus de* 37 pour 100 avec la consommation *réelle;* il était donc utile de répondre à ce sujet.

M. Ball dit aussi, à nouveau, que la Compagnie européenne, dont dépend M. Fessard, se sert *considérablement* de compteurs secs. M. Maldant est très-surpris de cette affirmation, dont il laisse à M. Ball *toute la responsabilité;* il ajoute seulement

1. Il est vrai qu'après la description faite, par M. Maldant, de l'essai réglementaire des compteurs, il n'y a plus eu que quelques phrases échangées comme conversation; mais le paragraphe mis en question ne contient que des faits déjà produits à la page 68 et autres; d'ailleurs, suivant la règle de toute discussion, M. Maldant ayant eu le premier la parole dans cette seconde discussion, il paraît convenable que M. Ball ait eu la dernière réplique.

qu'il connaît d'autres usines de la Compagnie européenne, notamment celles de Rouen et du Havre, où les compteurs humides *sont seuls employés.*

M. MALDANT termine en disant que les expériences que M. Ball s'est plu à faire sur des compteurs humides, *défectueux* ou *détériorés*, n'ont évidemment aucun sens ni aucune valeur dans la question qui occupe la Société; ce sont là des expériences intéressées et personnelles, *démenties par la pratique journalière*, et qui ne peuvent être *sérieusement* opposées à celles faites, sans intérêt ni idée préconçue, par de grandes Compagnies qui ne cherchent que la vérité.

M. LETELLIER demande s'il n'est pas dans l'esprit de la Société d'éviter, dans les procès-verbaux, tout ce qui a l'apparence d'une réclame industrielle.

M. MALDANT répond qu'il est de cet avis, et il ne pense pas qu'aucun reproche de cette nature puisse être fait à la discussion qui a eu lieu.

M. LE PRÉSIDENT voulant épargner le temps de la Société déclare l'incident vidé, et prie MM. Maldant et Ball de vouloir bien remettre leurs observations par écrit au bureau, qui jugera ce qu'il y a lieu de rectifier.

M. LEYGUE présente ensuite à la Société une étude détaillée sur les charges uniformément réparties, équivalentes, dans leurs effets, aux charges d'exploitation en circulation sur les tabliers métalliques; c'est-à-dire capables de développer, dans les sections de plus grande fatigue répondant aux charges distinctes, les mêmes moments maximum de flexion.

M. LEYGUE examine d'abord comment varient, dans l'amplitude du mouvement des charges, les moments maximum développés par un système de forces (P) agissant sur une pièce reposant librement sur deux appuis de niveau. Et, discutant l'expression

$$\mu = A + Bz,$$

formule générale des moments fléchissants pour une section quelconque, il reconnaît que dans la position (z), la plus défavorable du système, une des charges (P) est située dans la section de plus grande fatigue.

Dès lors le problème des charges uniformément réparties, de même effet que les charges distinctes, est notablement simplifié : Si (x) est l'abscisse du moment maximum sous une charge quelconque considérée; (π) la charge uniformément répartie de même effet que les charges distinctes P; (L) la portée de la poutre; (p) la charge uniformément répartie due au poids mort; (F) la résultante de forces distinctes P'; (λ) la distance de la charge considérée à la résultante F; (ΣPl) la somme des moments, par rapport à la charge considérée, des charges distinctes espacées sur l'abscisse x, on trouve :

$$\varpi = \frac{L}{2} - \lambda \frac{F}{2F + pL}$$

et

$$\pi = \frac{2F}{L}\left(1 - \frac{\lambda}{L - \varpi}\right) - \frac{2\Sigma Pl}{(L - x)\varpi}.$$

Après avoir examiné les conclusions que l'on peut tirer de ces formules, M. Leygue présente à la Société les applications faites aux tabliers de passages supérieurs et inférieurs. Les calculs sont groupés sous forme de tableaux et de courbes, dans lesquels les valeurs (π) sont considérées comme fonctions des portées.

La forme générale des courbes ainsi tracées est hyperbolique, avec deux asymptotes rectangulaires :

$$\varpi = 0 \qquad \text{et } y = \text{constante.}$$

Devant de pareils résultats, et préjugeant de ce qui doit se passer dans les autres compagnies, par la Compagnie du Nord, M. Leygue s'étonne que les charges de 400 k., 4,000 k. et 5,000 kilog. soient encore indiquées aux ordonnances administratives du contrôle. Il paraîtrait plus rationnel de laisser aux ingénieurs l'appréciation de charges pour lesquelles ils doivent calculer leurs ouvrages, et de fixer seulement la limite des efforts moléculaires à faire subir aux métaux. Les flèches permettraient, en définitive, de constater le degré de stabilité des ouvrages.

M. Leygue pense que les chiffres obtenus par la formule (π) sont également applicables aux poutres continues reposant sur plusieurs travées. En effet, dans le cas de symétrie complète, on trouve pour une pièce encastrée horizontalement à ses deux extrémités :

$$\pi = \frac{N(N+2)}{N+1} \cdot \frac{P}{L}$$

(N) désignant le nombre de charges distinctes (P) réparties sur la travée (L); et cette formule se retrouve *identique* dans l'hypothèse d'appuis libres.

M. Leygue termine en disant qu'il partage l'avis de M. Bresse pour refuser au mouvement des charges une action inquiétante sur les ouvrages. Si certaines observations semblent contredire cette opinion, c'est que probablement les poutres contrôlées se trouvaient, par les rapports de leurs éléments, en dehors des types-limites pour lesquels la théorie et la pratique ne sont pas encore en contradiction. M. Leygue, pour cette raison, maintient sans modifications les chiffres qu'il a trouvés, abstraction faite de la vitesse des charges roulantes.

M. Tardieu fait observer que, dans la pratique, les ponts ne sont pas calculés seulement en vue de résister aux charges d'épreuves prescrites par l'administration, mais bien d'après les charges qu'ils doivent supporter dans le service du chemin de fer.

M. Leygue répond qu'il n'a jamais voulu dire que les ponts fussent établis seulement en vue de cette épreuve; il sait très-bien que les calculs de stabilité sont faits d'après les charges roulantes d'exploitation.

M. Contamin demande à M. Leygue s'il pense que la courbe des moments fléchissants, résultant de l'hypothèse de la charge uniformément répartie, équivalente en la section de plus grande fatigue à la charge roulante, est bien la courbe-enveloppe de toutes les courbes des moments résultant des diverses positions de la charge roulante. Cette observation n'a d'importance qu'autant que l'épaisseur donnée aux plates-bandes n'est pas constante.

M. Leygue répond qu'il s'est assuré que la plus grande valeur (π) sous les charges (P) donne une parabole-enveloppe de toutes les courbes relatives aux charges distinctes, et qu'il aurait donné la démonstration algébrique de cette propriété de la valeur (π), s'il n'avait pas craint de fatiguer l'attention des membres de la Société.

M. le Président remercie M. Leygue de son intéressante communication qui sera insérée dans l'un des bulletins trimestriels.

M. le Président, avant de lever la séance, annonce que le comité dans sa séance de ce jour vient de nommer une Commission chargée d'étudier les projets qui lui seront présentés pour l'hôtel à construire pour la Société. Il engage les sociétaires qui seraient disposés à faire une étude à s'adresser à M. Husquin de Rhéville, notre secrétaire archiviste, qui leur donnera tous les renseignements relatifs aux besoins de la Société.

Il est bien entendu que le comité ne prend d'engagements vis-à-vis de personne, et qu'il reste maître de choisir parmi les projets celui qui lui semblera le plus complet.

COMPTE RENDU ANALYTIQUE

DU MÉMOIRE DE M. LE CHATELIER

SUR LA

MARCHE A CONTRE-VAPEUR DES MACHINES LOCOMOTIVES

PAR M. **FELLOT.**

Objet du mémoire. — Exposé de la question.

OBJET DU MÉMOIRE. — Dans la conduite des machines locomotives, la manœuvre qui consiste à changer le sens de la distribution, c'est-à-dire à lui donner la position de la marche en arrière, tandis que la machine marche en avant, est ce qu'on appelle le renversement de la vapeur.

Employée depuis longtemps par les mécaniciens, mais d'une manière exceptionnelle et dans le cas de danger imminent, pour obtenir l'arrêt brusque des trains, cette manœuvre n'avait pu, jusqu'à ces dernières années, passer dans la pratique courante à cause des inconvénients qui en étaient la conséquence. On sait, en effet, que sous l'influence de cette manœuvre opérée à fond et au bout d'un temps même très-court, les cylindres s'échauffent considérablement, les graisses se décomposent, les surfaces métalliques grippent, les garnitures se brûlent, les joints se calcinent et laissent échapper la vapeur, la pression monte rapidement dans la chaudière, les soupapes soufflent avec violence, les Giffards refusent de s'amorcer et le moteur est bientôt hors de service. En outre, par suite du grippement des tiroirs, le mécanicien se trouve exposé à des retours brusques du levier de changement de marche qui sont souvent la cause d'accidents graves.

L'objet du mémoire, dont nous nous proposons d'extraire la partie technique, est l'étude du système proposé en principe par M. Le Chatelier dès le 19 septembre 1865, et dont l'application, cherchée d'abord sur le chemin de fer du Nord de l'Espagne, par des moyens impropres ou insuffisants, poursuivie depuis, dans des conditions plus rationnelles, sur les lignes françaises et en particulier sur celles de Lyon et d'Orléans,

vient enfin, et à la suite d'expériences récentes entreprises par l'auteur, d'entrer dans une voie définitive. Ce système paraît avoir résolu complétement le problème consistant à faire du renversement de la vapeur une manœuvre courante, un état nouveau de marche continue et régulière que l'auteur désigne sous le nom de *marche à contre-vapeur*.

Il consiste, en principe, à dériver de la chaudière pour injecter à la base de l'échappement de chaque cylindre soit un jet d'eau seule, soit un mélange d'eau et de vapeur, en quantités et proportions suffisantes pour obtenir le rafraîchissement incessant des cylindres et l'obturation du tuyau d'échappement, afin d'empêcher les gaz de la boîte à fumée de pénétrer dans la chaudière; cette dernière condition n'étant toutefois de rigueur que lorsque la machine est alimentée par des Giffards à l'exclusion de pompes. En exécution, il suffit : avec l'eau seule, d'un robinet à la main du mécanicien et d'un tuyau de petit diamètre; avec le mélange d'eau et de vapeur, de deux robinets et de deux tuyaux se réunissant en un seul non loin de leurs points de départ; lorsque les cylindres sont extérieurs, le tuyau se bifurque ensuite symétriquement pour aller s'implanter dans chaque cylindre, à la base de l'échappement. Ajoutons, comme complément indispensable de cette installation, l'emploi du changement de marche à vis qui, destiné seulement d'abord à supprimer les dangers inhérents à la manœuvre du levier, a réalisé ensuite l'avantage imprévu de rendre cette manœuvre plus rapide.

Relations de la distribution avec le sens de la marche. — L'étude des effets qui se produisent dans la marche à contre-vapeur suppose une connaissance parfaite des diverses circonstances que présente la distribution soit dans le cas de l'admission directe, c'est-à-dire en concordance avec le sens de la marche, soit dans le cas de l'admission inverse ou renversement de la vapeur. Rappelons rapidement ces circonstances :

Admission directe. — La succession des phases de la distribution, d'un même côté du piston, à partir du point mort d'arrière, par exemple, et pour un tour de roues complet, est la suivante :

A l'aller : 1° *Admission* pendant une partie de la course dont la longueur relative dépend du cran de marche; la pression de la vapeur dans le cylindre est plus ou moins voisine de celle à laquelle cette vapeur est soumise dans la chaudière.

2° *Détente*. La lumière étant fermée à l'admission mais non encore ouverte à l'échappement, la vapeur renfermée dans le cylindre se détend et la pression s'abaisse graduellement.

3° *Avance à l'échappement*. Un peu avant que le piston n'ait achevé sa course, le bord intérieur du tiroir démasque la lumière et l'échappement commence; la pression s'abaisse rapidement au niveau de la pression atmosphérique.

Au retour : 4° *Echappement.* L'échappement continue pendant la plus grande partie de la course rétrograde du piston, la contre-pression restant sensiblement égale à la pression atmosphérique.

5° *Compression.* Le bord intérieur du tiroir vient recouvrir l'arête intérieure de la lumière, mais le bord extérieur ne découvre pas encore l'arête extérieure de cette lumière; la vapeur restant dans le cylindre se comprime sous l'action du piston, et la contre-pression s'élève rapidement.

6° *Avance à l'admission.* Un peu avant que le piston ne revienne à son point de départ, la lumière se découvre à l'admission, et la vapeur pénètre dans l'espace nuisible qu'elle achève de remplir au moment où le piston reprend son mouvement en avant.

Admission inverse au renversement de la vapeur. — Le piston partant, comme ci-dessus, de la position arrière, analysons les phases successives que présente la distribution sur la face avant de ce piston pendant un tour de roues complet. Le tiroir, dont la marche a été renversée, se trouve donc dans la position qui correspondait tout à l'heure à l'*avance à l'échappement;* son bord intérieur découvre encore la lumière d'avant du cylindre dont la capacité se trouve ainsi en communication avec l'échappement.

A l'aller : 1° *Refoulement.* Pendant le temps que le bord intérieur du tiroir met à masquer la lumière, le piston refoule librement à l'extérieur le mélange gazeux qui remplit le cylindre; la contre-pression est voisine de la pression atmosphérique.

2° *Compression.* Le tiroir recouvre la lumière et le piston comprime le mélange gazeux qui reste dans le cylindre; la pression s'élève, mais assez lentement.

3° *Contre-vapeur.* Le bord extérieur du tiroir découvre la lumière qui se trouve ainsi en communication avec la chaudière, et la vapeur pénétrant rapidement comprime d'abord le mélange gazeux qu'elle rencontre à une pression moindre, puis commence bientôt, sous l'action continue du piston, à être refoulée avec lui dans la chaudière. La résistance opposée au mouvement du piston et, par suite, à la rotation des roues en avant, atteint son maximum. Car, l'équilibre de pression avec la chaudière une fois établi, l'admission fait place au refoulement, et, si l'on marche avec quelque vitesse, la pression du mélange dans le cylindre dépasse bientôt celle que la vapeur présente dans la boîte à tiroir et dans la chaudière de toute la quantité nécessaire pour assurer le passage rapide du mélange par l'ouverture réduite de la lumière. C'est l'effet inverse de celui qui se produit à l'admission dans la marche directe. Cette situation se prolonge jusqu'à la fin de la course.

Au retour : 4° *Admission* (suite). L'admission se prolonge encore au moment où le piston retourne en arrière; c'est la période très-courte, souvent nulle, qui, dans la marche directe, correspond à l'avance à l'admission.

5° *Détente.* A partir du moment où le bord extérieur du tiroir vient fermer la lumière jusqu'à celui où le bord intérieur viendra l'ouvrir à l'échappement, le mélange de vapeur et de gaz qui remplit le volume correspondant à l'espace nuisible à une pression voisine de celle de la chaudière se détend dans l'espace que laisse après lui le piston; sa pression s'abaisse donc graduellement.

6° *Aspiration.* Le bord intérieur du tiroir démasque la lumière, et le cylindre est mis en communication avec l'échappement. Mais tandis que le tiroir marche lentement, le piston prend à ce moment une vitesse croissante; il en résulte que le mélange de vapeur et de gaz, qui, à l'origine de cette période, est encore en pression, ne peut pas se vider brusquement dans l'échappement; il continue donc, pour une bonne part, à fournir au remplissage en se détendant jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse entre sa pression et celle des gaz de l'échappement. A partir de ce point, cet état persiste jusqu'à la fin de la course, le complément des gaz nécessaires au remplissage étant aspiré de l'échappement dans le cylindre.

Echauffement des cylindres. — L'effet le plus sensible du renversement de la vapeur est l'échauffement rapide des cylindres. Il est dû : d'abord à la température élevée, 200° à 250°, des gaz qui pénètrent de l'échappement dans les cylindres et qui ne sont autres que les produits de la combustion; ensuite à la compression du mélange qui occupe le cylindre pendant la période dite de *compression;* enfin et surtout à la réduction du volume que subit ce mélange par l'introduction de la contre-vapeur et au refoulement du mélange nouveau dans la chaudière. Cet échauffement a toujours été le principal obstacle à l'emploi prolongé de la marche à vapeur renversée.

On peut se faire une idée générale de la quantité de chaleur développée dans cette action pendant un temps déterminé, 1′ par exemple, en appliquant la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur au travail résistant qu'il serait nécessaire d'opposer, dans le même temps, à l'action de la gravité sollicitant un train à la descente d'une pente, de manière à entretenir une vitesse constante, déduction faite d'ailleurs des résistances propres au train.

Exemple. — Un train de 145 tonnes, que gouverne une machine à 6 roues accouplées de 55 tonnes (y compris le tender à moitié vide), descend une pente de $25^{m}/_{m}$ par mètre, à la vitesse de 25 kilomètres à

l'heure. La composante de la gravité, parallèlement à la voie, sera de 25 kilogrammes par tonne, soit pour le train. 5,000kg

Les résistances propres au train, estimées en moyenne à 6 kilogrammes par tonne de son poids brut, donnent. . . 1,200kg

Reste pour l'effort effectif dû à la gravité. 3,800kg

Cet effort, à une vitesse de 416m,67 par 1′, correspond à un travail de 1,583,336 kilogrammètres.

Or, on sait que l'unité de chaleur ou calorie équivaut à un travail mécanique de 424 kilogrammètres.

La quantité de chaleur résultant du travail ci-dessus sera donc égale à $\frac{1,583,336}{424} = 3,734$ calories.

C'est ce développement considérable de chaleur qu'il faudrait demander par 1′ à la compression des gaz et à la contre-vapeur, si les cylindres remplissant la fonction de caléfacteurs pouvaient marcher assez longtemps, à un degré d'admission approprié, sans amener les accidents que l'on connaît.

Pour obtenir ce résultat, il suffit de faire absorber la chaleur développée, sous une forme latente, par l'injection dans l'intérieur des cylindres d'une quantité d'eau égale à 7 ou 8 kilogrammes par 1′.

C'est, en effet, le principe prévu par M. Le Chatelier dès le 19 septembre 1865, et dont l'application a été poursuivie depuis, d'abord, par une injection de vapeur seule, bientôt, par un mélange de vapeur et d'eau dans lequel la proportion de ce dernier élément est allée constamment en augmentant; enfin, à la suite d'essais faits par l'auteur du mémoire sur la rampe d'Étampes, au commencement de l'année courante, par une injection d'eau seule.

Passons en revue ces différents modes d'application de la contre-vapeur en signalant les particularités principales.

Injection de vapeur seule.

Mode d'action. Le rôle essentiel de la vapeur injectée seule consiste à prévenir l'entrée dans les cylindres des gaz chauds de la boîte à fumée. Les avantages réalisés sur le renversement ordinaire de la vapeur sont déjà importants : 1° on substitue de la vapeur à 100° aux gaz de la combustion qui présentent une température au moins double; 2° on évite, en outre, par cette substitution, l'introduction des cendres et escarbilles entraînées par la fumée et dont l'action sur les surfaces frottantes était pernicieuse; 3° on évite de refouler dans la chaudière des gaz fixes dont le mélange avec la vapeur, même en petite proportion, empêche le fonctionnement des giffards.

Mais la vapeur, à sa sortie de la chaudière, entraînant à peine la quan-

tité d'eau suffisante pour maintenir sa saturation, alors que sa pression s'abaisse de 8 atm. à 1 atm., arrive aux cylindres dans un état plus ou moins sec et n'y introduit, par conséquent, aucun élément susceptible d'absorber la chaleur produite par le travail de la compression et du refoulement.

Applications. Dans ces conditions, l'application de la contre-vapeur se trouve limitée aux cas qui ne demandent qu'un travail très-réduit pendant un certain temps, ou un travail énergique pendant un temps très-court : tels que modérer la vitesse des trains lourds sur pentes de $5^{m}/_{m}$ et des trains légers sur pentes de $10^{m}/_{m}$; assurer concurremment avec les freins ordinaires un arrêt plus exact des trains aux stations; faciliter les manœuvres de gares; obtenir l'arrêt brusque en cas de danger. Ces conditions sont celles qui conviennent à plusieurs lignes du réseau français, et c'est ainsi que le Nord a appliqué l'injection de vapeur seule à près de 200 machines, l'injection d'eau étant réservée pour les sections à profil plus accidenté.

L'application de ce mode d'injection, qui ne s'emploie guère qu'aux crans inférieurs de la distribution, c'est-à-dire pour des admissions de contre-vapeur réduites, a mis en évidence un fait de traction intéressant.

D'un côté, il ressort des expériences faites à l'Est, par MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné, sur la traction des machines à froid, c'est-à-dire à l'état de simples véhicules, que la résistance opposée par une machine à huit roues accouplées, marchant à une vitesse de 25 à 30 kilomètres à l'heure, peut s'estimer à 11 kilogrammes environ par tonne de son poids. D'un autre côté, il résulte d'expériences multipliées effectuées par M. Forquenot, au moyen de l'indicateur de Watt, et consistant à comparer le travail effectif de la vapeur sur les pistons aux résistances du train mesurées par un dynamomètre, que les résistances totales d'une machine, de même type, en feu, atteignaient 23 kilogrammes par tonne et même au delà. Cette augmentation de résistance se produit également dans la marche à contre-vapeur, surtout si la vapeur est injectée seule, ce qui donne lieu à un certain échauffement et augmente la dureté des frottements. De sorte qu'il doit arriver que le travail proprement dit de la contre-vapeur, étant très-faible ou nul, l'effet obtenu, comme action retardatrice ou frein, soit dû aux résistances additionnelles que les pièces du mécanisme opposent au mouvement sous l'influence de la pression de la vapeur.

Expériences. A l'appui de ses appréciations sur l'injection de vapeur seule, M. Le Chatelier rapporte deux expériences qu'il a suivies lui-même et dont nous résumons les circonstances principales :

L'une, sur le chemin de fer du Nord, de Chantilly à Saint-Denis : train de 650 tonnes, pente de $5^{m}/_{m}$, sur une longueur de 13,700 mètres, coupée

par deux paliers dont l'un de 1,200 mètres, admission de 15 à 40 p. 100; vitesse maintenue à 25 kilomètres par heure; pression tendant à baisser; échauffement notable mais n'allant pas jusqu'à une altération des organes de la machine.

L'autre, sur la rampe d'Étampes du chemin de fer d'Orléans : pente de $8^{m}/_{m}$; train de 480 tonnes; admission de 15 à 22 p. 100; recours, par moments, au frein du tender pour ne point dépasser ce dernier cran; pression se maintenant à 7 atm. avec une injection modérée de 6 à 10 kilogrammes de vapeur par 1', mais baissant rapidement de 8 à 6 1/4 avec une injection de 16 à 23 kilog. A ce point de l'essai, après un parcours de 4 kilomètres seulement, et malgré l'abondance de l'injection, on a dû, pour prévenir un échauffement sérieux, ouvrir le robinet d'injection d'eau, et le trajet s'est achevé dans les conditions suivantes : injection mixte de 18 à 19 kilog. d'eau et de 9 à 10 kilog. de vapeur; admission de 22 à 45 p. 100; vitesse maintenue de 28 à 24 kilomètres à l'heure; abaissement de 1/4 d'atmosphère dans la pression.

Ces deux essais marquent la limite de ce qu'il est permis d'attendre de la marche à contre-vapeur avec injection de vapeur seule.

Injection d'eau seule.

Mode d'action. — C'est à cette combinaison qu'il convient de recourir, dès qu'on veut demander à la contre-vapeur un travail un peu considérable.

Recherchant d'abord quelles doivent être, au moment de son introduction dans le cylindre, la constitution et les propriétés du mélange aqueux provenant d'un jet d'eau dérivé de la chaudière, l'auteur du Mémoire entre dans les considérations qui suivent : l'eau sortant de la chaudière, où elle se trouve à haute pression et à température élevée, pour pénétrer dans un milieu à la pression atmosphérique, entre en ébullition instantanée, et il se forme aussitôt une quantité de vapeur à 100°, correspondant à l'excès de chaleur qui reste disponible au delà de cette température. Il se produit donc, à la sortie du robinet, une sorte d'émulsion formée par de la vapeur à 100°, tenant en suspension des gouttelettes d'eau qui, déjà très-divisées par la vaporisation même, doivent encore se pulvériser, quand, entraînées avec une vitesse considérable dans un tuyau de petit diamètre, elles viennent frapper les parois de l'échappement.

Il est facile, d'ailleurs, de déterminer le titre en eau du mélange, en établissant une équation entre les quantités de calories représentées : d'une part, par 1 kilog. d'eau telle qu'elle se trouve dans la chaudière, c'est-à-dire à une température de 175°,77 correspondante à une pression absolue de 9 atmosphères; d'autre part, par le même poids d'un mélange formé d'une quantité x de vapeur et d'une quantité d'eau ($1^{kg}.-x$),

à la température de 100°. Cette équation, en adoptant les chiffres de M. Regnault, et en tenant compte de ce fait, que la vaporisation d'un litre d'eau nécessite, pour lè déplacement d'un volume d'air 1646 fois plus grand, une quantité de travail équivalente à $40^{cal},092$, sera la suivante :

$$178^{cal},017 = (1^{kg} - x)\,100^{cal},5 + x^{kg}\,(596^{cal},76 + 40^{cal},092),$$

d'où : $$x = 0^{kg},1445.$$

Cette quantité de vapeur à 100° occupera un volume égal à

$$1646 \times 0^{l},1445 ; \text{ soit } 237^{litres},8 ;$$

et le rapport : $\frac{1^{l} - 0^{l},1445}{237^{l},8} = \frac{0^{l},8555}{237^{l},8} = 0,0036$, sera le titre en eau du brouillard aqueux.

Appliquant ce calcul à la série des pressions de 5 à 10 atmosphères, et rapprochant les résultats, on trouve que, dans les conditions habituelles d'une machine en marche, 7 à 8 atmosphères, la proportion moyenne de vapeur formée est de 13 p. 100 du poids d'eau injectée, et le titre du mélange ou rapport moyen du volume d'eau au volume de vapeur est égal à 4 millièmes.

Quant à la vitesse que possédera le mélange à son arrivée, on peut supposer que, dans l'intervalle du parcours, toute la vapeur répondant au calcul ci-dessus a été produite, et alors cette vitesse résulte de la section du tuyau et du débit basé sur le volume de la vapeur, lequel, ainsi qu'on vient de le voir, ne diffère pas sensiblement de celui du mélange. Dans les conditions moyennes d'une injection de 10 kilog. par minute, au moyen d'un tuyau de 25 à 26 millim. de diamètre, et sous une pression de 7 à 8 atmosphères, on obtient une vitesse de 71 mètres par seconde.

Le mélange, au moment où il se présente devant la lumière d'échappement, est donc, quant à sa constitution et à sa vitesse, dans de bonnes conditions pour son introduction dans le cylindre, où il achève de se transformer en vapeur.

Quantité à injecter. — La quantité d'eau qu'il convient d'injecter dépend, pour chaque type de machine, de la vitesse de marche, du cran auquel on admet et de la pression existante dans la chaudière. Dans chaque cas, l'injection doit satisfaire à ces deux conditions : 1° la quantité d'eau introduite dans les cylindres à l'état de mélange doit être suffisante pour absorber incessamment la chaleur développée dans les périodes de compression et de refoulement; 2° la vapeur propre du mélange jointe à celle qui se forme dans le cylindre, ou d'une manière plus précise, le volume de vapeur à 100° correspondant à la totalité de l'eau injectée, et

pour une cylindrée, doit suffire, avec excès, au remplissage du cylindre durant la période d'aspiration ramenée à sa valeur effective.

Expérience de la rampe d'Etampes. — Une application de ces principes en fera mieux saisir la portée. Prenons pour exemple l'expérience de la rampe d'Étampes, du 5 janvier 1869, qui a été, pour M. Le Chatelier, la confirmation la plus nette de ses prévisions sur l'efficacité de l'injection d'eau seule. Les circonstances principales de cet essai ont été les suivantes : machine à huit roues accouplées, gouvernant un train de 640 tonnes, à une vitesse de 30 à 27 kilomètres à l'heure; admission variant de 15 à 58 pour 100; injection régulière de 18 à 19 kilog. d'eau par minute; pression effective maintenue à 7 atmosphères; émission continuelle par la cheminée d'un nuage de vapeur, accompagnée d'une pluie très-légère; absence d'air ou de gaz dans la chaudière attestée par la fixité de l'aiguille du manomètre et par le fonctionnement des injecteurs Giffard; état de la machine aussi satifaisant qu'en marche directe. Cet essai a été complété par des diagrammes des pressions dans les cylindres, relevés pour les différents crans d'admission. Ces diagrammes intéressants sont reproduits dans le Mémoire.

Considérant celui de ces diagrammes qui se rapporte à l'admission maxima de 58 pour 100, à une vitesse de 28 kilomètres à l'heure et à une pression de 7 atmosphères effectives, on trouve :

Travail de la contre-pression pour une cylindrée . .	$2{,}258^{kgm}62$
Nombre de tours de roues par minute	122^{t}, 55
Travail total dû à la contre-vapeur, pour les deux cylindres, et par minute.	$1{,}107{,}176^{kgm},00$
Nombre équivalent de calories	$2{,}611^{cal},20$
— de calories nécessaires pour transformer 1 kil. d'eau à 100°, en vapeur à la pression de $7^{atm},75$ absolues.	$486^{cal},72$
Quantité d'eau à injecter par minute.	$5^{kg},360$

Pour absorber la chaleur développée dans les cylindres, par la compression et la contre-vapeur, il suffirait donc d'une injection de $5^{kg},360$ d'eau.

Pour se rendre compte de la quantité d'eau à injecter, afin d'éviter la rentrée des gaz, il faut déterminer d'abord le volume réel d'aspiration pour une cylindrée. Or, nous avons vu plus haut que, dans sa marche à contre-vapeur, le piston arrive à fond de course en refoulant dans la chaudière la vapeur qui se présente devant lui. Au retour, lorsque l'admission se ferme, l'espace que le piston laisse entre lui et le fond du cylindre est, par suite, rempli de vapeur à la pression de la chaudière. Cette vapeur, dans la période suivante (dite de *compression en marche directe*), se détend; mais, lorsque la lumière s'ouvre à l'échappement,

elle n'est pas encore descendue à la pression atmosphérique, et comme d'un côté le tiroir n'ouvre que lentement un passage réduit, et que de l'autre, au contraire, le piston marchant à une vitesse croissante, engendre derrière lui un volume relativement considérable, une faible partie de la vapeur s'échappe au dehors, tandis que la quantité restante continue à se détendre.

La position du piston, au moment où, sous ces deux influences, la pression intérieure de la vapeur se met en équilibre avec celle atmosphérique du mélange qui remplit l'échappement, n'est donc pas celle qui correspond, sur l'épure de distribution, à l'ouverture de la lumière à l'échappement. Pour la déterminer avec quelque précision, il est nécessaire de recourir au diagramme des pressions, et de relever sur ce diagramme le point de la course où la pression se réduit à la pression atmosphérique. A partir de ce point, l'aspiration du mélange aqueux se continue jusqu'à la fin de la course, mais, à l'aller qui suit et pendant la première période (*avance à l'échappement* en marche directe), le piston refoule dans l'échappement une partie de la quantité qu'il vient d'y aspirer. Cette partie répond à la course parcourue par le piston pendant cette période, et l'épure de distribution suffit à sa détermination. Le volume réel ou utile d'aspiration sera la différence entre le volume introduit d'abord dans le cylindre et celui qui vient d'être refoulé dans l'échappement.

Dans l'exemple qui nous occupe, le diagramme rapporté par l'auteur donne, pour le parcours du piston correspondant à l'aspiration utile, une longueur de $0^{m},270$ environ; soit 40 pour 100 de la course totale. La cylindrée étant de 129 litres, le volume en question sera de. . $51^{l},000$
et pour 490, cylindrées correspondant à $122^{l},55$ par min. $25,000^{l},000$
Le poids d'eau à injecter, répondant à ce volume de vapeur à 100°, sera . . . . . $15^{kg},180$

C'est près de trois fois la quantité nécessaire, dans le même temps, pour prévenir l'échauffement des cylindres. La quantité injectée dans l'essai a été de 18 à 19 kilog.

On voit donc que, des deux conditions énoncées ci-dessus, la première est subordonnée à la seconde, et qu'il suffira dans la recherche de la quantité d'eau à injecter, de satisfaire au remplissage des cylindres pendant la période effective d'aspiration.

Cette théorie suppose que toute l'eau injectée est réduite en vapeur. Cependant, si l'on se reporte aux considérations qui précèdent, on reconnaît que sur les $15^{kg},180$ d'eau sortant de la chaudière, 2 kilogrammes seulement se réduiront spontanément en vapeur; d'un autre côté, on a trouvé ci-dessus, que la chaleur développée par la marche à contre-vapeur pouvait vaporiser $5^{k},360^{g}$. Il reste donc $7^{kg},820$, soit $0^{kg},046^{g}$ d'eau par cylindrée, dont la vaporisation n'est pas justifiée. Mais il convient de re-

marquer que cette eau se présente aux cylindres à une température de 100°, et que la masse métallique relativement considérable qui compose les cylindres, pistons et tiroirs, et qui possède une température élevée, joue ici, suivant une expression caractéristique de l'auteur, le rôle d'*échangeur de calorique*.

En effet, pendant la période d'aspiration, c'est cette masse métallique qui fournit la chaleur nécessaire à la vaporisation de cette petite quantité d'eau excédante, sa température subissant un abaissement correspondant. Dans la période de contre-vapeur elle reprend, calorie pour calorie, la chaleur qu'elle vient de perdre, à la vapeur venue de la chaudière. Le résultat final est la condensation d'une quantité correspondante de la vapeur admise dans cette dernière période, et celle-ci, refoulée bientôt après, ne retourne plus à la chaudière, sèche ou simplement saturée, mais chargée d'eau liquide, au grand bénifice des frottements. A ce point de vue, il y aurait donc tout avantage à augmenter la quantité d'eau injectée au delà de ce qui est nécessaire, même pour l'obturation de l'échappement.

Ajoutons que les essais entrepris récemment par M. Le Chatelier avaient précisément pour but d'éclairer ce côté douteux de la question. A la suite de celui que nous venons de prendre pour exemple, plusieurs autres ont eu lieu sur les lignes de l'Est, du Nord et du Midi, dans des circonstances diverses, dont l'exposé dépasserait le cadre que nous nous sommes tracé. Ils ont tous démontré surabondamment que, dans toutes les conditions de pente, de charge et de vitesse qui se rencontrent sur les chemins de fer actuellement existants, on pouvait toujours, et tout en restant dans des conditions d'injection modérée, fournir au tuyau d'échappement une quantité de vapeur suffisante pour empêcher les rentrées d'air, et que cette quantité pouvait être dépassée de beaucoup, sans danger comme sans inconvénients.

Calcul pratique des quantités d'eau à injecter. — Il résulte de ce qui précède que le calcul de la quantité d'eau à injecter pour un type de machine connu, et dans chaque cas particulier de pression, d'admission et de vitesse, repose sur la détermination du volume réel d'aspiration. Cette détermination elle-même dépend de celle de deux autres volumes :

1° Volume engendré par le piston pendant la détente de la vapeur qui remplit l'espace nuisible jusqu'au point où sa pression tombe au niveau de la pression atmosphérique. Pratiquement, et à défaut de diagrammes des pressions, il suffira de calculer ce volume par le rapport inverse des densités de la vapeur supposée saturée, aux pressions initiale et finale, en prenant comme point de départ l'espace nuisible rempli de vapeur à la pression absolue de la chaudière. Ce mode de calcul suppose d'abord que la chaleur des parois métalliques, compensant le refroidissement

dû à la détente même, maintient la vapeur à saturation, et ensuite que l'échappement partiel de la vapeur, pendant la détente, au moment où le bord intérieur du tiroir commence à découvrir la lumière, est compensé par l'introduction d'une quantité égale de vapeur sortie de l'autre cylindre dans les mêmes conditions.

Ces deux hypothèses plus ou moins fondées peuvent seules, d'ailleurs, rendre possible une détermination qui paraît suffisante en pratique.

2° Volume de vapeur renvoyé dans l'échappement par le piston quand il revient sur lui-même, pendant la période de refoulement (dite d'avance à l'échappement, ou marche directe). La course du piston, durant cette période, est donnée par l'épure de la distribution, mais il faut avoir soin de tenir compte du retard que le tiroir subit par suite du jeu des articulations, de la flexion et de l'élasticité des pièces qui concourent à son mouvement. Ainsi un retard de 5 millimètres dans la course du tiroir, lequel n'a rien d'anormal, répond à 25 millimètres environ de la course du piston pour une admission de 50 à 60 pour 100. Cette longueur vient en augmentation du volume de vapeur refoulé.

Le volume réel d'aspiration résulte de la différence entre une cylindrée entière et la somme de deux volumes déterminés ci-dessus. Le poids d'eau à injecter par cylindrée s'en déduit, en supposant que toute l'eau injectée est transformée en vapeur à 100°.

En appliquant ce mode de calcul à chaque type de machine pour les crans les plus usuels de la distribution, pour la pression et la vitesse ordinaire de marche, on obtiendra un barème propre à servir de guide aux mécaniciens. Les chiffres obtenus pourront être regardés, en général, comme notablement supérieurs aux besoins et réduits, par tâtonnement, en se réglant sur l'apparence du panache.

Injection d'eau et de vapeur.

La combinaison mixte dont il s'agit est celle qui a servi de base aux essais prolongés, poursuivis depuis le mois de mars 1866, sur la ligne du Nord de l'Espagne, sous la direction de M. Ricour, ingénieur en chef du matériel et de la traction, qui en a exposé l'économie dans un Mémoire inséré au tome X des *Annales des Mines*, 6e série, 1866. Elle consiste en principe : 1° à envoyer dans le tuyau d'échappement un volume de vapeur égal au volume d'aspiration utile ; 2° à ajouter à cette quantité de vapeur une quantité d'eau qui, complétant celle que la vapeur elle-même est supposée apporter, soit suffisante pour absorber par sa vaporisation de la chaleur dégagée dans le cylindre, par l'effet de la marche à contre-vapeur.

« Cette méthode, suivant M. Le Chatelier, que nous citons ici textuel-« lement, a l'inconvénient de reposer sur des données incertaines, telles

« que l'entraînement de l'eau et même l'étendue pendant laquelle la « communication avec l'échappement est ouverte. De plus, elle néglige « un élément essentiel, la production même de la vapeur par l'eau portée « dans le cylindre à vapeur, qui fournit son contingent au remplissage et « prend la place d'une partie de la vapeur envoyée de la chaudière avec « cette destination.

« Elle expose encore à des mécomptes, parce que si le mécanicien « envoie trop de vapeur, ou si les injections de vapeur et d'eau rendues « solidaires ont été mal proportionnées, l'excédant de vapeur qui ne « peut se loger ni dans les cylindres, ni dans le tuyau d'échappement, « s'en va par la cheminée en entraînant une quantité proportionnelle de « l'eau qui devait servir à absorber la chaleur dégagée. Des erreurs, « même légères, sur les bases du calcul peuvent conduire à des résultats « très-insuffisants. »

En outre, dans l'application, M. Ricour n'a pas bien tenu compte des circonstances suivantes :

1° Tout en adoptant la méthode que nous venons d'indiquer pour le calcul du volume réel d'aspiration, le résultat auquel il est arrivé s'est trouvé faussé : d'une part, parce qu'il a pris comme base un espace nuisible qui n'était que les six dixièmes de celui qui existait réellement ; d'autre part, parce qu'il n'a pas eu égard au retard dans la marche du tiroir. Cette erreur et cet oubli l'ont conduit à un volume beaucoup trop grand pour l'aspiration ;

2° La quantité d'eau que la vapeur peut entraîner avec elle, et que M. Ricour a estimée plus grande qu'elle n'est vraisemblablement, doit se vaporiser au sortir du robinet, par le fait même de l'abaissement de pression (voir les considérations développées page 109), mais, en tout cas, elle se vaporisera dans les cylindres au même titre que l'eau injectée dans ce but, et l'expérience de la rampe d'Étampes a montré qu'il se produit dans les cylindres une vaporisation considérable pendant la période de communication avec l'échappement. Si, comme cela est nécessaire, on tient compte du volume total résultant de la vapeur injectée directement et de celle provenant de la vaporisation de l'eau entraînée et de l'eau injectée, on trouve un volume dépassant de plus du double celui qui est nécessaire au remplissage. Cet excédant de vapeur, outre qu'il emporte du calorique par la cheminée, a surtout, nous le répétons, l'inconvénient grave de détourner, par la même voie, une partie proportionnelle de l'eau destinée au refroidissement ;

3° La bifurcation n'ayant pas une symétrie parfaite entre les deux cylindres, l'eau et la vapeur se répartissaient inégalement entre les deux côtés de la machine.

C'est ainsi que M. Ricour est arrivé à régler d'abord les débits respectifs maxima de ses robinets d'injection à 13^{kg},500 de vapeur, et 7^{kg},500

d'eau par minute; soit un rapport de 180 de vapeur pour 100 d'eau. Plus tard, au moment de l'application de la contre-vapeur aux machines à huit roues accouplées, reconnaissant l'insuffisance de l'injection d'eau, il a doublé la quantité d'eau en conservant la même injection de vapeur; soit 15 kilog. d'eau et 13^{kg},500 de vapeur, et un rapport de 90 de vapeur pour 100 d'eau.

M. Le Chatelier regarde ce rapport comme trop élevé encore, et comme devant être de 40 ou 50 pour 100.

La proportion adoptée dès l'origine sur les chemins de fer français qui, à l'exemple du Nord de l'Espagne, ont appliqué la combinaison mixte, et particulièrement sur les lignes d'Orléans et de Lyon, a varié de 60 à 70 de vapeur pour 100 d'eau.

Questions diverses relatives à l'emploi de la contre-vapeur.

Déperdition de chaleur. — Si les quantités d'eau ou d'eau et de vapeur injectées étaient réduites au strict nécessaire pour absorber la chaleur dégagée et éviter les rentrées d'air, il n'y aurait pas perte, mais gain au profit de la chaudière, de toute la chaleur développée dans le travail de marche à contre-vapeur, déduction faite seulement du refroidissement extérieur. Mais, dans l'état actuel, il est de règle de laisser une certaine quantité de vapeur s'écouler par la cheminée, sous forme de panache; c'est une garantie pour le mécanicien contre toute rentrée d'air. Dans ce cas, toute la chaleur engagée dans la vapeur et l'eau qui sont rejetées par la cheminée est perdue, et il faut admettre de ce fait une consommation supplémentaire de combustible à la descente des pentes un peu longues. Mais, outre cette perte de chaleur et celle due au refroidissement extérieur, il y en a une autre importante qui résulte de l'alimentation dont l'opportunité se fait le plus souvent sentir au moment où la machine doit marcher à contre-vapeur. Un injecteur Giffard peut envoyer dans la chaudière 120 litres par minute; cette eau, en passant de la température de 20° qu'elle peut avoir dans le tender à celle de 170° environ que présente l'eau de la chaudière, absorbera 18,000 calories. Or, dans le même temps, et en prenant comme point de comparaison les résultats de l'expérience de la rampe d'Étampes (page 121), la chaleur développée par le travail à contre-vapeur et représentée par les 5^{k},36 de vapeur produite n'est que de 2,600 calories. On voit donc qu'en général il faudra demander au foyer la chaleur nécessaire pour maintenir la pression.

M. Le Chatelier cite deux chiffres, 1^{kg},650 et 1^{kg},800, comme excès de la consommation sur celle ordinaire à la descente des mêmes pentes, sous l'action des freins.

Conservation des presse-étoupes. — L'emploi de l'eau seule ou d'une injection mixte ne paraît pas indifférent au point de la vue de la conservation des garnitures. On comprend, en effet, en se reportant aux considérations développées (p. 120), que, si on laisse se produire dans les cylindres la presque totalité de la vapeur qui doit fournir au remplissage, au lieu de l'amener de la chaudière, la tige de piston, plongée dans un milieu chargé d'humidité, sera dans de meilleures conditions pour ne point s'échauffer et brûler les garnitures. Les tiroirs et les segments seront également placés dans des conditions de lubrification très-favorables.

Une expérience faite sur la rampe de Saint-Gobain a démontré qu'après une marche à fond de course sur 4 kilomètres et à une vitesse inusitée, en employant l'eau seule, les tiges de piston étaient exactement dans l'état où les avait laissées, avant l'essai, la marche directe à pleine admission. M. Le Chatelier croit que l'emploi de l'eau seule permettra de marcher à fond de course régulièrement et d'une manière prolongée, sans altération des garnitures de cylindres.

Limite de travail de la contre-vapeur. — Cette limite, pour une machine donnée, et pour chaque cran d'admission, résulte des conditions par lesquelles passe la pression résistante, aux différents points de la course.

Toutes choses égales d'ailleurs, la pression moyenne en contre-vapeur est beaucoup plus faible qu'en marche directe. Cette infériorité tient à ce que, d'une part, la détente de la vapeur comprimée dans l'espace nuisible produit un travail direct considérable, qui vient en déduction de celui dû à la contre-pression, et, d'autre part, à ce que l'admission de la contre-vapeur ayant lieu au moment où le piston, arrivé près du milieu de sa course a sa plus grande vitesse et présente au remplissage un volume déjà considérable, la pression ne peut s'élever que lentement. Dans la marche directe, l'admission se fait à l'origine de la course, et la vapeur affluant derrière le piston au moment où il a la moindre vitesse, la pression s'établit de suite à son maximum; en outre, la détente et l'avance à l'échappement, qui donnaient en marche directe une partie de diagramme bien nourrie, ne fournissent plus qu'une figure creuse. M. Le Chatelier estime qu'en pratique, pour les admissions à grande course, on peut se baser sur un rapport de 55 à 60 pour 100 entre le travail inverse et le travail direct. Mais ce rapport diminue rapidement à mesure que le degré d'admission s'abaisse. Ainsi à 15 pour 100 d'admission, tandis que le travail direct est encore considérable, le travail dû à la contre-vapeur même est à peu près nul.

La détermination de ce coefficient permettra de résoudre facilement les questions de traction semblables à celles-ci :

1° Quelle est la charge dont la descente pourra être gouvernée, à une

vitesse déterminée, sur une pente connue, par une machine de puissance donnée?

2° Quelle est la pente pour laquelle la charge descendue ou montée, à des vitesses déterminées, par une machine de puissance connue, sera la même, et quelle sera cette charge?

Appliquant cette dernière question à une machine à huit roues accouplées capable de développer une traction de 6,700 kilogrammes, et pour une vitesse de 16 kilomètres à la descente comme à la montée, on trouve pour la charge du train (non compris machine et tender de 62 tonnes) 83t,33 tonnes, et pour l'inclinaison de la pente $36^{m}/_{m}$,88 par mètre.

Mode d'application.

Choix du système d'injection. — Les règles à suivre dans les injections d'eau, et, au besoin, dans l'addition de la vapeur, varient suivant les conditions du service, et par suite, suivant les types de machines.

Machines à voyageurs à roues libres. — Ces machines doivent pouvoir satisfaire également à un travail de contre-pression réduit, mais prolongé, tel que celui qui consiste à modérer la vitesse sur des pentes voisines de l'inclinaison où la gravité équilibre les résistances des trains, et à un travail relativement important, mais accidentel, tel que celui qui consisterait à obtenir l'arrêt brusque d'un train lancé à grande vitesse. Une combinaison favorable consisterait donc à disposer un tuyau de 25 à 30 millimètres de diamètre, avec deux robinets correspondant aux débits maxima, l'un de 5 kilog. d'eau, l'autre de 10 kilog. de vapeur.

Machines à marchandises à six et à huit roues accouplées. — Ces machines doivent pouvoir fournir une marche à contre-vapeur prolongée et à fond de course. L'injection d'eau seule doit donc former la base de la combinaison à adopter; mais il est nécessaire de se réserver le moyen d'injecter accidentellement de la vapeur, soit seule pour purger le tuyau d'injection de l'eau de condensation et le réchauffer, soit, dans le cas d'une injection très-restreinte, aux crans inférieurs de l'admission, pour faire foisonner le mélange d'eau et de vapeur, par une addition de vapeur qui lui donne une vitesse convenable et divise l'eau tenue en suspension, soit enfin quand la pression de la chaudière est basse. Il convient donc d'établir deux robinets indépendants, répondant à des débits maxima de 4 à 5 kilogrammes pour la vapeur et de 30 à 40 kilog. pour l'eau.

Machines mixtes. — On pourrait, comme pour les machines à voyageurs, adopter la combinaison mixte d'une injection de vapeur et d'eau, en augmentant la proportion de ce dernier élément, à mesure que le degré d'admission s'élèverait; de telle sorte que la vapeur prédominât pour les trois

ou quatre premiers crans, et n'entrât que pour moitié de l'eau injectée au dernier cran, les débits maxima étant à ce cran de 12 kilog. pour l'eau et 6 kilog. pour la vapeur.

Position des points d'injection. — Le tuyau d'injection doit être bifurqué avec une symétrie absolue, et les deux branches devront s'implanter sur chaque cylindre, de manière à venir déboucher, autant que possible, près des cylindres, mieux encore dans la lumière même d'échappement, et de préférence du côté opposé à l'origine du conduit d'échappement.

Robinets d'injection. — Le mode le plus convenable de fermeture des orifices d'injection est le *robinet-vanne* de M. Marié, qui permet, au moyen d'un index dépendant de la tige même de commande, de repérer les ouvertures mesurées sur une échelle fixe.

La vis est commode pour graduer les ouvertures ; on pourrait employer également la disposition d'un levier mobile contre un secteur divisé. Mais quel que soit le mode adopté, il est indispensable de graduer les débits d'une manière plus successive qu'on ne l'a fait jusqu'à présent; en d'autres termes, d'augmenter considérablement la course correspondant à un débit donné. On ne peut, en effet, astreindre le mécanicien à des manœuvres précises, délicates, dans les circonstances où il se trouve, et si l'on veut arriver à obtenir dans le service l'observation des proportions d'injection en rapport avec le travail variable demandé à la contre-vapeur, il est nécessaire de lui donner une certaine latitude dans le jeu de l'appareil.

Avantages d'un emploi normal de la contre-vapeur.

D'une manière générale, l'importance de la solution apportée par M. Le Chatelier au problème d'une marche normale à contre-vapeur résulte de cette considération : que la machine locomotive, si docile, si rapide ou si puissante, quand il s'agit de remorquer une charge, manquait, jusqu'à ce jour, de cette propriété que possèdent tous les moteurs animés de pouvoir retarder et anéantir la quantité de mouvement qu'ils tiennent de la vitesse acquise ou de la gravité, en appliquant à cette action la même puissance et les mêmes organes qui leur servent à acquérir cette vitesse et à vaincre la gravité. Cette imperfection n'existe plus aujourd'hui, la locomotive a acquis une propriété nouvelle, elle s'est complétée.

Dans l'exploitation, ce progrès considérable se traduit par les faits suivants :

1° Entretien, à la descente des pentes, de la vitesse des trains à un degré de régularité qui ne dépendra plus que de l'habileté du mécanicien.

2° Diminution des dépenses : soit dans l'établissement de la voie qui, ne fatiguant pas plus dans les pentes qu'ailleurs, ne demandera pas des

matériaux d'une valeur plus grande; soit dans l'entretien des freins destinés à ne plus servir qu'accidentellement et accessoirement, des bandages qui, sous l'action des freins et de la chaleur produite, s'usent rapidement, se relâchent et cassent, des essieux qui grippent, des rails qui se rompent, du graissage des roues de wagons dont les boîtes-à-graisse se vident sous l'influence de la chaleur transmise de la jante au moyeu.

3° Arrêt plus rapide en cas de danger.

4° Arrêt plus précis aux stations.

5° Diminution des accidents résultant, soit des avaries du matériel sous l'action des freins, soit du peu de rapidité, d'ensemble et d'énergie qui préside actuellement aux arrêts des trains.

Application de la contre-vapeur en France.

Toutes les compagnies de chemins de fer, et, en première ligne, celle de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ont fait déjà d'importantes applications du nouveau système, et partout, aujourd'hui, le service des pentes de 15 millimètres et au delà est assuré au moyen de la contre-vapeur. Cependant, à part le réseau de Lyon, son application systématique au service ordinaire des trains, pour l'arrêt aux stations, n'a pas encore prévalu; le mécanicien concourt à l'arrêt d'une façon plus ou moins prononcée, il se sert de la contre-vapeur comme appoint à l'action de freins, pour ne pas dépasser les stationnements fixés.

Le tableau suivant résume la situation des applications faites ou projetées en France au 1er mars 1869.

DÉSIGNATION DES RÉSEAUX.	MACHINES en service.	MACHINES en montage.	APPLICATIONS projetées.	TOTAL.
Paris à Lyon et à la Méditerranée.	1108	2 2	35	1425
Paris à Orléans.....	45	9	189	273
Est.....	70	8	400	528
Nord.....	180	4	83	277
Midi.....	63	22	97	182
Totaux.....	1466	415	804	2685

Ces chiffres montrent assez l'avance considérable que la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée a prise sur les autres, dans l'adoption de la marche à contre-vapeur. Son application sur cette ligne, dont l'honneur revient à M. Marié, se résume par les traits suivants : introduction du changement de marche à vis, substitution générale de la contre-vapeur aux freins ordinaires, qui n'en sont plus que les accessoires; exten-

sion rapide du système à toutes les machines de la Compagnie. Les parties du réseau où la contre-vapeur rend plus particulièrement des services sont : Blaisy à Dijon, pente de 8 millimètres par mètre ; Dôle à Pontarlier, pente de 20 millimètres ; Saint-Étienne à Rive-de-Gier, pente de 15 millimètres ; Tarare à Amplepuis, pente de 26 millimètres.

Soit, pour le réseau entier, une étendue totale de 120 kilomètres en pente de 14 à 16 millimètres, et 90 kilomètres environ en pente de 20 à 26 millimètres.

L'auteur, continuant cette revue, signale les traits essentiels qui ont marqué l'emploi de la contre-vapeur sur les autres lignes françaises.

Nous ne le suivrons pas dans cette voie où il nous entraînerait trop loin ; cependant nous ne pouvons passer sous silence deux tentatives intéressantes :

L'une sur le chemin de fer du Nord, embranchement de Chauny à Saint-Gobain, où M. Romme, ingénieur du matériel de la division de Tergnier, a eu l'idée d'appliquer le principe du Giffard, pour lancer dans l'échappement un mélange variable d'eau prise dans le tender, et de vapeur venant de la machine ;

L'autre sur le chemin de fer du Midi, où M. Laurent, ingénieur en chef du matériel et de la traction, a fait, le 20 décembre 1867, un essai de fermeture du tuyau d'échappement, au moyen d'une valve à bascule placée près de l'extrémité supérieure de ce tuyau ; les résultats obtenus, soit avec de l'eau seule, soit avec un mélange d'eau et de vapeur, ont été satisfaisants ; l'avantage évident serait l'économie de toute la chaleur perdue par l'émission au dehors.

Ici se termine la tâche que nous nous étions proposée et qui se réduisait à ceci :

Laissant de côté tout ce qui a trait aux origines de la question et aux discussions de priorité, extraire du mémoire de M. Le Chatelier tout ce qui se se rapporte à l'action, aux effets et à l'application de la contre-vapeur ; le résumer en quelques pages qui puissent à la fois être de quelque utilité aux membres que cette étude intéresse ; marquer, dans les travaux de la Société, la place que mérite d'y prendre une question aussi importante, et servir de point de départ à la discussion qu'elle ne peut manquer de soulever.

NOTE

SUR LA

FABRICATION DE L'ACIER FONDU

PAR AFFINAGE DE LA FONTE

AVEC CHAUFFAGE PAR COMBUSTIONS INTERMOLÉCULAIRES

PAR M. **S. JORDAN**,

Ingénieur, Professeur de métallurgie à l'École centrale.

I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

On sait que les éléments constituants de la fonte sont principalement :

Le fer, pour la majeure partie;

Le carbone, en proportion variable de 2 à 5 p. 100;

Le silicium, également presque toujours présent, en proportion de 0,25 à 3,50 p. 100 généralement;

Le manganèse, quelquefois, en proportion variant de 0 à 10 ou 12 p. 100;

Enfin divers métalloïdes, comme le soufre, le phosphore, dont la présence diminue la qualité du métal, et qui, lorsqu'ils se rencontrent, sont en proportions beaucoup moindres.

L'affinage de la fonte a pour but de rapprocher le fer de l'état de pureté, en l'*épurant*, c'est-à-dire en éliminant le soufre et le phosphore, et en la *décarburant*, c'est-à-dire en brûlant le carbone. Le silicium et le manganèse disparaissent d'eux-mêmes presque complétement pendant ces deux opérations en passant dans la scorie. Mon intention n'est pas de reproduire ici la théorie suffisamment connue de l'affinage; je veux seulement rappeler quelques faits constatés par la pratique et quelques principes de cette théorie.

Dans l'affinage, le premier élément étranger qui abandonne le fer est le silicium. Pendant la première phase d'un affinage, au bas foyer ou au four à puddler, le silicium se sépare sous forme d'acide silicique, et le car-

bone semble se concentrer dans le bain. Le fait a été établi par les analyses des divers chimistes qui ont étudié l'affinage, notamment par MM. Crace Calvert et Johnson.

Dans un affinage bien entendu, l'épuration doit précéder, autant que possible, la décarburation.

Dans la décarburation, qu'elle se fasse sous l'action de l'air, comme dans les affinages secs, ou sous l'action des silicates et oxydes de fer, comme dans les affinages gras, le carbone s'échappe à l'état d'oxyde de carbone, et non d'acide carbonique [1]. Il est aisé de le constater dans le four à puddler pendant le bouillonnement, comme dans l'appareil Bessemer pendant la période de décarburation.

Lorsque la fonte renferme peu de carbone et une proportion sensible de soufre ou de phosphore, on ne peut arriver à finir l'épuration avant la décarburation complète, et on a forcément comme résultat d'affinage un fer décarburé, doux et nerveux si l'épuration est achevée, dur et rouverin s'il est sulfureux, tendre et à gros grains s'il reste du phosphore.

Lorsque, au contraire, la fonte est très-carbonée, peu sulfureuse et peu phosphoreuse, si de plus elle renferme du manganèse (qui, outre qu'il annonce par sa présence une pureté déjà notable, a la propriété de faciliter l'épuration et de retarder la décarburation), on pourra achever l'épuration de bonne heure, et obtenir comme produit, soit de l'acier, soit un fer plus ou moins aciéreux, ou *à fin grain*, suivant qu'on arrêtera plus ou moins tôt l'affinage. C'est à des fontes remplissant ces dernières conditions qu'on donne le nom de *fontes aciéreuses;* les maîtres de forges, qui s'occupent d'acier, savent aujourd'hui parfaitement à quoi s'en tenir sur l'ancien mystère de la propension aciéreuse.

L'affinage de la fonte, jusqu'à ces dernières années, s'était toujours effectué en la mettant d'abord en fusion, soit dans un bas foyer au contact d'un combustible pur, soit dans un four à réverbère, chauffé par un combustible solide, ou par des gaz, puis en agissant sur elle au moyen de réactifs oxydants comme l'air, ou les oxydes de fer et de manganèse. Dans ces divers procédés, on ne s'occupe guère des gains ou des déperditions de chaleur provenant des réactions dans le bain, et on produit, à l'aide d'un foyer extérieur, une quantité considérable de chaleur, dont la majeure partie est emportée par les produits gazeux de la combustion; une autre partie traverse les parois du fourneau, et un solde minime seulement revient au bain métallique par le contact superficiel de la flamme et le rayonnement des parois. Ainsi, en considérant un four à puddler, on sait que, pendant la fusion, qui dure une demi-heure environ, il faut brûler 100 kilogrammes de houille pour liquéfier et élever à une tempé-

1. L'acide carbonique du reste ne peut exister en présence du fer à la haute température des foyers d'affinage. On sait aussi que le résultat de la réduction de l'oxyde de fer par le carbone est de l'oxyde de carbone, et non de l'acide carbonique.

rature de 1400 degrés environ, une charge de 200 kilog. de fonte. La dépense de chaleur est donc 750,000 calories environ. Là-dessus, 5 à 600,000 s'en vont avec les produits de la combustion; 100,000 disparaissent par transmission à travers les parois du four; et 60,000 calories environ seulement, soit 1/12, se retrouvent dans le bain de fonte.

Mais, depuis quinze années environ, on a vu apparaître de nouveaux systèmes d'affinage, où l'on tend à économiser considérablement la chaleur. Une fois la fonte mise en fusion, on supprime toute consommation extérieure de combustible, et on chauffe le bain en brûlant, au moyen d'injections d'agents oxydants, le silicium, le manganèse, le carbone qui se trouvent dans la fonte, et une partie du fer lui-même. Le calorique, développé au sein de la masse incandescente par ces combustions intermoléculaires, est beaucoup mieux utilisé; les parois de l'appareil n'en reçoivent que de seconde main, pour ainsi dire. Elles en absorbent et en perdent moins, d'autant mieux que les opérations sont plus rapides; et elles sont moins attaquées par les hautes températures qui se produisent. Il est à peine besoin de dire que le type de cette nouvelle série de procédés d'affinage est *le procédé Bessemer*. On se rappelle le bruit que fit dans le monde métallurgique cette annonce, à l'apparence prétentieuse, de M. Bessemer, en 1856, qu'il fabriquait directement de l'acier fondu avec la fonte sans combustible. Les agents oxydants qui ont été proposés, employés ou essayés, sont surtout; l'oxygène, l'air et la vapeur d'eau.

Je me propose ici d'examiner, aussi soigneusement que possible, comment ces agents peuvent effectivement agir sur la température d'un bain de fonte liquide, et de juger, au moyen des connaissances fournies par cet examen, plusieurs des procédés nouveaux.

Pour fixer les idées, je considérerai un bain de 1000 kilog. de fonte grise liquide porté à une température supérieure à celle de la fusion, à la température de 1400° par exemple. Quelle sera la quantité de chaleur contenue dans ce bain?

J'admets comme températures de fusion de la fonte, d'après Pouillet et Péclet :

1050° pour la fonte blanche très-carburée;
1200° pour la fonte grise graphiteuse;
1250° pour la fonte grise manganésée;

Les capacités calorifiques sont, d'après Regnault :

0,1098 pour le fer entre 0° et 100°.
0,1255 — 0° et 350°.
0,1273 pour le fine-métal entre 0° et 100°.
0,1298 pour la fonte blanche très-carburée.

D'après des expériences faites par un habile chimiste suédois, la capacité calorifique moyenne d'une fonte grise ordinaire est :

0,13 entre 0° et 200°.
0,17 entre 0° et 1000°.
0,21 pour la fonte liquide.

La chaleur latente de fusion, d'après le même expérimentateur, est environ 46 calories [1].

Le nombre de calories contenues dans les 1000 kilog. de fonte liquide sera donc :

$$1000\ (1200 \times 0{,}17 + 46 + 200 \times 0{,}21) = 292{,}000 \text{ calories.}$$

Il faudra ajouter ou retrancher 210 calories pour faire varier la température d'un degré. En ôtant 42,000 calories, on ramènera la fonte au point de fusion.

Je supposerai que la fonte est enfermée dans un vase réfractaire imperméable à la chaleur, et que l'on y injecte des courants très-divisés d'oxygène, d'air ou de vapeur sèche.

Combustion du fer.

1° *Par l'oxygène pur.* — Pour chaque centième (10 kilog.) de fer brûlé, il faudra $\frac{10}{3{,}5} = 2^k{,}857$ d'oxygène, qui produisent $12^k{,}857$ de protoxyde de fer en développant, d'après Dulong [2], $2{,}857 \times 4327 = 12362$ calories.

Cette quantité ne servira pas tout entière à chauffer le bain, parce que l'oxyde formé, qui a une capacité calorifique notablement plus considérable que le fer métallique (0,17 au lieu de 0,11 à l'état solide, et une différence encore plus grande probablement à l'état liquide), absorbera pour se mettre à la température du bain, au moins :

$$(12{,}857 \times 0{,}17 - 10 \times 0{,}11)\ 1400 = 1520 \text{ calories.}$$

1. Je ne saurais admettre le chiffre de 233 calories donné récemment par un écrivain, et qui me paraît provenir de l'application d'une formule inexacte. La quantité maximum de chaleur qu'on a pu trouver dans la fonte liquide, chauffée bien au delà de son point de fusion, a été de 330 calories. Si 233 était la chaleur latente de fusion, il ne resterait que 100 calories pour porter 1 kil. de fonte de 0° à près de 1400°, ce qui est contraire à l'expérience.

2. J'adopte le chiffre déterminé par Dulong, de préférence à celui de Despretz, parce que les expériences de Dulong sont plus récentes, et parce que celles de MM. Favre et Silbermann ont démontré leur exactitude. J'admets aussi, ou plutôt, je semble admettre, que le fer en brûlant dans l'oxygène, produit du protoxyde FeO. Toutefois, je dois rappeler que le chiffre déterminé par Dulong est relatif à une combustion plus complète. Le fer brûlé dans l'oxygène produit l'oxyde des battitures Fe^3O^4, comme on sait. Mon hypothèse tend donc à fournir un nombre de calories plus grand que la réalité dans le chauffage par la combustion du fer.

Il restera donc 10840 calories environ pour chauffer le bain, dont la température s'élèvera par suite de 50° environ pour chaque centième de fer brûlé par l'oxygène. L'oxyde de fer étant fixe et restant dans le bain, il n'y a pas de chaleur emportée hors du vase. Avec une injection d'oxygène un peu puissante dans du fer fondu, la température deviendrait telle qu'aucun vase ne pourrait contenir le bain, d'autant plus que, l'action étant très-vive et rapide, le vase perdrait peu de chaleur par l'extérieur.

2° *Par l'air atmosphérique.* — Pour chaque 10 kilog. de fer brûlé, il faudra $2^k,857$ d'oxygène, et le poids de l'azote sera $2^k,857 \times \frac{77}{23} = 9^k,570$. Le nombre de calories disponibles sera toujours 10840 environ, comme ci-dessus; mais l'azote, en supposant qu'il se dégage après avoir pris la température initiale du bain, en emportera $9,57 \times 0,244 \times 1400 = 3269$. Le bain ne gagnera donc que 7570 calories environ, chiffre du reste assez considérable pour élever rapidement sa température, si quelques centièmes de fer sont brûlés.

3° *Par la vapeur d'eau.* — Je supposerai d'abord la vapeur sèche, et à 100°. (Il n'y a pas un grand intérêt à la surchauffer, il vaudrait mieux surchauffer le bain dont la conductibilité est plus grande et la chaleur spécifique plus faible que celles de la vapeur). — Pour chaque 10 kilog. de fer brûlé, il faudra $2^k,857$ d'oxygène, et par suite $2^k,857 \times \frac{9}{8} = 3^k,214$ de vapeur contenant $0^k,357$ d'hydrogène. Cette vapeur arrivant à 100° absorbera pour se décomposer (1) $29512 \times 0,357 = 10538$ calories; de plus, l'hydrogène, en se dégageant, emportera $0,357 \times 3,40 \times 1300 = 1578$ calories; la perte totale sera donc

$$10538 + 1578 = 12116 \text{ calories.}$$

Mais, si on veut être strict, il faut en déduire $2,857 \times 0,218 \times 100 = 62$ calories apportées par les 2,867 d'oxygène, ce qui réduit la perte à 12054 calories. Le gain étant comme plus haut 10840 calories environ, on voit que le bain perdra finalement 1214 calories environ par chaque centième de fer brûlé par la vapeur. En injectant de la vapeur dans du fer fondu, on obtiendra un mélange de fer et d'oxyde de fer dont la température s'abaissera forcément, si on ne lui rend de la chaleur par une source extérieure. On ne peut lui rendre cette chaleur en surchauffant la vapeur,

1. 1 kil. d'oxygène et 8 kil. d'hydrogène, supposés à 100°, produisent en se combinant 34462 calories et 9 kil. d'eau à 100°; ou bien (34462 — 9.550) = 29512 calories et 9 kil. de vapeur d'eau à 100°. Réciproquement, 9 kil. de vapeur à 100° absorbent pour leur décomposition 29512 calories, et produisent 1 kil. d'hydrogène et 8 kil. d'oxygène à 100°.

puisqu'il faudrait que les $3^k,214$, dont la capacité calorifique est 0,475, fussent à près de 850° pour que le bain ne gagnât ni ne perdît de chaleur, et qu'on ne peut surchauffer pratiquement la vapeur à une température semblable.

J'ai supposé, il est vrai, que l'hydrogène se dégageait à la température initiale du bain, ce qui, probablement, n'est pas complétement exact; mais, comme d'autre part, je fais abstraction du refroidissement du vase, il n'y a pas de danger d'erreur sérieuse en admettant mon hypothèse.

Combustion du manganèse.

L'équivalent du manganèse est un peu plus faible que celui du fer, et sa capacité calorifique est un peu plus forte. La capacité de son oxyde est à peu près la même que celle de l'oxyde de fer. Il est probable que les puissances calorifiques se ressemblent beaucoup, de sorte que ce que j'ai dit du fer s'appliquera aussi au manganèse.

Combustion du carbone.

1° *Par l'oxygène pur.* — Pour chaque centième (10 kilog.) de carbone à brûler, il faudra $13^k,333$ d'oxygène pour produire $23^k,333$ d'oxyde de carbone. La combustion sera directe, ou indirecte, c'est-à-dire effectuée par l'intervention de l'oxyde de fer, qui se réduira au contact du carbone; le produit sera toujours de l'oxyde de carbone. La quantité de chaleur produite sera toujours celle qui correspond à la combustion du carbone en oxyde de carbone, puisque, s'il se forme de l'oxyde de fer d'abord, cet oxyde se décompose ensuite pour oxyder le carbone, et que ces deux réactions se neutralisent au point de vue calorifique. Les résultats de la combustion seront donc $23^k,333$ d'oxyde de carbone et $10 \times 2473 = 24730$ calories.

L'oxyde de carbone, en se dégageant à 1400°, emportera une quantité de chaleur égale à la différence entre celle qu'il contient, et celle que contenaient les 10 kilogrammes de carbone, savoir :

$$(23{,}333 \times 0{,}2479 - 10 \times 0{,}241)\,1400 = 4718 \text{ calories.}$$

Il restera donc dans le bain

$24730 - 4718$, soit 20012 calories environ pour chaque centième de carbone brûlé par l'oxygène.

2° *Par l'air atmosphérique.* — Pour chaque 10 kilog. de carbone à brûler, il faudra $13^k,333$ d'oxygène, et le poids de l'azote sera

$$13^k,333 \times \frac{77}{23} = 44^k,666.$$

La quantité de chaleur produite sera toujours 24730 calories, dont 4718

seront emportées par l'oxyde de carbone, et $44666 \times 0{,}244 \times 1400 = 15260$ calories par l'azote; il ne restera donc dans le bain que $24730 - (4718 + 15260) = 4752$ calories qui ne pourront l'échauffer que de 22° environ.

Il y a lieu de remarquer ici combien il y a de chaleur perdue pour l'échauffement des produits gazeux de la combustion; lorsque ces produits sont liquides ou solides et restent dans le bain, le gain en calories est bien plus considérable.

3° *Par la vapeur d'eau.* — Pour chaque 10 kil. de carbone à brûler, il faudra $13^k{,}333$ d'oxygène correspondant à $1^k{,}667$ d'hydrogène, et à 15 kil. de vapeur d'eau. La décomposition de cette vapeur absorbera $1{,}667 \times 29512 = 49187$ calories; l'hydrogène qui se dégage, passant de 100° à 1400°, emportera $1{,}667 \times 3{,}40 \times 1300 = 7367$ calories; la perte totale de chaleur sera donc $49187 + 7367 = 56554$ calories.

Le gain ne sera, comme ci-dessus, que $24730 - 4718 = 20012$ calories.

La quantité de chaleur que le bain devra donc fournir sera

$$56554 - 20012 \text{ calories},$$

soit 36542 calories, dont il faut déduire les $13{,}333 \times 0{,}218 \times 100 = 290$ calories apportées par l'oxygène; la perte finale n'est donc que 36252 calories.

L'abaissement de température, provenant de cette perte, empêchera la décarburation de la fonte par la vapeur, si une source extérieure ne restitue pas de la chaleur au bain qui s'épaissirait rapidement par la combustion de quelques centièmes de carbone.

Combustion du silicium.

1° *Par l'oxygène pur.* — Pour un centième, soit 10 kil. de silicium, il faudra $10 \times \frac{24}{21{,}5} = 11^k{,}16$ d'oxygène qui formeront $21^k{,}16$ d'acide silicique. Quelle sera la quantité de chaleur produite par la réaction?

Les physiciens, malheureusement, n'ont pas encore déterminé la puissance calorifique du silicium, non plus que sa capacité calorifique. Mais si l'on considère, d'une part, que le silicium, d'après les essais de laboratoire, brûle avec énergie, quoiqu'un peu lentement, comme le carbone dense; d'autre part, que la combustion est complète et produit de la silice, corps fixe et plus stable que l'acide carbonique, on peut admettre, sans trop de chances d'erreur, que la puissance calorifique du silicium, brûlant en acide silicique, est la même que celle du carbone brûlant en acide carbonique, soit 8000 calories.

Les 10 kil. de silicium à 1400° produiront donc, en se combinant à l'oxygène, 80000 calories; mais une partie de cette chaleur sera absorbée

par l'acide silicique formé. Il est impossible de la calculer exactement puisque on ne connaît pas la capacité calorifique du silicium; mais on peut la supposer à peu près égale à celle nécessaire pour amener l'oxygène injecté à la température du bain, c'est-à-dire à :

$$11,16 \times 0,218 \times 1400 = 3406 \text{ calories.}$$

Le bain gagnera donc l'énorme quantité de 76594 calories.

On voit que le silicium, grâce à la fixité de la silice produite qui reste dans le bain, a une action calorifique puissante. Avec la combustion de 1/100 seulement de silicium par l'oxygène, on obtiendrait une température à laquelle aucun vase ne résisterait.

2° *Par l'air atmosphérique.* — Dans les mêmes conditions que ci-dessus, le bain gagnera 76594 calories, moins la quantité de chaleur qu'emportera l'azote de l'air. Pour la connaître, il faudrait savoir quelle sera l'intensité de la température produite; nous aurons une limite inférieure en admettant que l'azote s'échappe à 1400°.

La quantité d'azote sera $11,16 \times \frac{77}{23} = 37^{k},386$, et la quantité de chaleur emportée $37^{k},386 \times 0,244 \times 1400 = 12770$ calories.

Le bain ne profitera donc que de $76594 - 12770 = 63824$ calories, chiffre encore très-considérable.

3° *Par la vapeur d'eau.* — La combustion des 10 kil. de silicium par l'oxygène produira toujours, comme ci-dessus, 76594 calories. Mais les $11^{k},16$ d'oxygène ne s'obtiendront que par la décomposition de $12^{k},555$ de vapeur, qui mettront en liberté $1^{k},395$ d'hydrogène. La chaleur absorbée par la décomposition sera donc $1395 \times 29512 = 41169$ calories, et l'hydrogène se dégageant emportera

$$1,395 \times 3,40 \times 1300 = 6166 \text{ calories.}$$

Le bain ne conservera donc que

$$76594 - (41169 + 6166) = 29259 \text{ calories,}$$

auxquelles il faut ajouter, pour être exact, les

$$11,16 \times 0,218 \times 100 = 243 \text{ calories}$$

apportées par les $11^{k},16$ d'oxygène à 100°, soit en définitive 29502 calories.

Il est à remarquer que le silicium est le seul des éléments de la fonte dont la combustion par la vapeur d'eau produise un gain de chaleur pour le bain. Ce fait explique la recommandation faite par quelques métallurgistes, qui ont essayé l'affinage à la vapeur, de n'employer cette vapeur que pendant quelques instants au commencement de l'affinage.

J'appliquerai maintenant les données précédentes à l'étude du chauffage du bain de 1000 kil. de fonte, dont je supposerai la composition semblable à celle d'une des bonnes fontes à Bessemer, fabriquées par les usines du midi de la France (Terrenoire, Saint-Louis ou Givors, par exemple).

1000 kil. de fonte contiendront : { 42,50 carbone total. / 20,00 silicium. / 937,50 fer et manganèse.

Je suppose aussi que dans les trois procédés d'affinage dont je vais parler, on opère en décarburant complétement le bain, ainsi qu'on le fait en réalité dans les usines, pour le recarburer ensuite par une addition subséquente de *spiegeleisen*.

En comptant sur les déchets ordinaires on obtiendra, par exemple, 850 kil. de métal décarburé.

II. — AFFINAGE PAR L'AIR ATMOSPHÉRIQUE, OU PNEUMATIQUE.

Si on injecte de l'air en courants divisés dans le bain de fonte, les gains de chaleur seront :

Combustion de 20 kil. de silicium :	$2 \times 63824 =$	127648 calories.
— 42k,50 de carbone :	$4{,}25 \times 4752 =$	20176 —
— 87k,50 de fer, etc. :	$8{,}75 \times 7570 =$	66237 —
soit en tout		214061 calories.

Admettant que la capacité calorifique du fer fondu soit 0,16 (la capacité calorifique de la fonte augmente de moitié en passant de 0° à la température de sa fusion, je suppose qu'il en est à peu près de même pour le fer), on voit que la quantité de chaleur gagnée par le bain serait suffisante pour élever sa température de 1350° environ, s'il ne se composait que de fer sans scories, et s'il n'y avait pas de déperditions de chaleur tenant au vase et aux gaz qui s'échappent à une température probablement supérieure à celle de 1400°, admise dans les calculs. Il faut ajouter qu'à ces hautes températures et malgré la pression de 1 atmosphère environ à laquelle on opère, la force de dissociation a une grande influence, et que les combinaisons ne s'effectuent pas aussi exactement et complétement qu'on l'a supposé dans le calcul.

Le chiffre obtenu ci-dessus n'en explique pas moins les températures jusqu'alors inconnues qu'on obtient dans le convertisseur Bessemer, températures telles que, lorsqu'on traite des fontes très-siliceuses, on voit l'acier doux couler avec une fluidité et une couleur qui rappellent

celles de l'alcool enflammé, ainsi que je l'ai observé moi-même, à l'aciérie de Terrenoire, par exemple.

La pratique a démontré que lorsque la fonte fluide introduite dans le convertisseur ne contient pas au moins 1 1/4 pour 100 de silicium, on a beaucoup de chances pour manquer l'opération, faute de chaleur. Si l'on se rappelle que la fonte introduite dans le convertisseur, et ayant été refondue au four à reverbère, a perdu au moins 1 pour 100 de silicium dans cette deuxième fusion, on s'explique pourquoi les aciéries ne peuvent pas, et ne veulent pas, employer seules au convertisseur les fontes, même les plus pures, qui ne contiennent pas dans les gueusets de 2 à 2 1/2 pour 100 de silicium au moins, ainsi que je l'ai déjà fait connaître en 1864, à propos de la fabrication des fontes aciéreuses dans le pays de Siegen. La difficulté de fabriquer des fontes pures avec une aussi forte teneur en silicium est la principale difficulté contre laquelle luttent nos usines à fonte françaises, qui fabriquent des fontes à Bessemer. L'usine de Terrenoire, la première en France, a tourné la difficulté en traitant directement au convertisseur les fontes liquides sortant du haut-fourneau. Comme elles n'ont pas à subir de deuxième fusion, elles peuvent satisfaire avec 1 1/4 pour 100 seulement de silicium; on obtient aisément au haut-fourneau 1 1/2 à 2 pour 100 comme allure régulière, et on arrive même à 2 1/2 et 3 pour 100, de sorte qu'on est sûr de ne pas manquer d'opérations, même avec des variations d'allure assez notables.

Dans la fabrication de la fonte, le manganèse et le silicium s'excluent l'un l'autre; c'est pourquoi une fonte grise, renfermant même seulement 2 pour 100 de manganèse, ne peut contenir la quantité de silicium nécessaire pour réussir sûrement au convertisseur après une deuxième fusion. Les fontes manganésées et peu siliciées sont dites dans les aciéries *fontes froides;* et on les emploie en mélange avec d'autres fontes, dites *chaudes*, qui sont, au contraire, extrasiliciées (plus de 2 1/2 pour 100) et très-peu manganésées. Pour fabriquer des aciers doux, comme ceux destinés à être laminés en tôles ou en bandages, ou forgés en canons de fusil, on emploie des fontes chaudes peu manganésées : il faut, en effet, beaucoup de chaleur et peu de carbone dans le bain. Les fontes d'hématite anglaises, qui ont tant de réputation pour la fabrication des aciers Bessemer doux, ne renferment pas 1/2 pour 100 de manganèse. Pour fabriquer, au contraire, des aciers durs, comme ceux destinés aux rails, on mélange une proportion souvent notable de fonte froide et manganésée.

Dans les deux cas, on pousse la décarburation jusqu'au bout, de façon à obtenir du fer fondu et même du fer légèrement *brûlé*, c'est-à-dire contenant un peu d'oxyde de fer interposé. Puis on vient ajouter une proportion de *spiegeleisen* (fonte blanche miroitante contenant 4 à 5 pour 100 de carbone, 7 à 10 pour 100 de manganèse, et moins de 1/2 pour 100 de silicium), d'autant plus grande que l'on veut obtenir un acier plus

dur: cette proportion varie généralement de 6 à 12 pour 100. Cette addition a pour effet de réduire l'oxyde de fer interposé et de recarburer plus ou moins le bain. On donne un coup de vent très-court pour effectuer le brassage, et on verse le métal dans la poche de coulée.

La température de ce métal n'a pas besoin d'être aussi élevée lorsqu'il est très-carburé, comme l'acier dur, que lorsqu'il l'est peu, comme l'acier doux. Pour une même température, l'acier est d'autant plus fluide qu'il est plus carburé. Mais l'excès de température est toujours un avantage : d'abord, on peut, pendant l'opération elle-même, utiliser, en les jetant dans le convertisseur, des riblons de fer et d'acier, qui se dissolvent dans le bain d'une façon homogène, s'il est assez chaud; puis on peut laisser le métal séjourner un moment (quelquefois 10 minutes) dans la poche de coulée avant de remplir les moules, ce qui permet aux bulles d'air ou d'oxyde de carbone et aux scories, d'arriver à la surface, et donne ensuite des lingots plus sains.

Pour éviter le plus possible les soufflures dans les lingots, il importe évidemment d'arrêter le soufflage aussitôt que le carbone a disparu, afin de ne pas former trop d'oxyde de fer. Plus la proportion de ce dernier est grande, plus il se forme de bulles d'oxyde de carbone, quand on ajoute le spiegeleisen, et plus aussi il faut de ce dernier pour obtenir un même degré de carburation ou de dureté.

Pour reconnaître le moment où tout le carbone a été brûlé par l'air injecté, on a plusieurs moyens :

1° L'examen de la flamme et des étincelles qui sortent du bec du convertisseur. Quand il n'y a plus d'oxyde de carbone en dégagement, la longue flamme blanche brillante qui sortait de l'appareil tombe subitement; on ne voit plus qu'un dard plus ou moins roussâtre, formé par l'azote incandescent semé de poussière d'oxyde de fer. Les étincelles produites par des globules métalliques, qui sont rougeâtres pendant l'opération et lorsque le bain est encore carburé, blanchissent à mesure que le métal s'approche du fer pur;

2° Le changement de nature du bruit qui se fait dans l'appareil. Quand il ne se dégage plus que de l'azote à travers la masse ferreuse, le bouillonnement n'est plus le même que lorsqu'il sort aussi de l'oxyde de carbone;

3° L'analyse spectrale de la flamme. Quand toutes les raies disparaissent, sauf celle du sodium qui persiste, la décarburation est finie;

4° Une prise d'essai de la scorie. Ce moyen, peu connu en France, est employé en Allemagne.

Je l'ai vu pratiquer à l'aciérie de Hoerde (Westphalie). On prend, avec une baguette de fer qu'on plonge dans le convertisseur, un peu de la scorie qui surnage, et on la refroidit. Si elle est jaune-verdâtre (cou-

leur qui indique une faible teneur en oxyde de fer) le métal est encore carburé; si elle est gris-bleu (couleur qui, au contraire, indique une forte teneur en oxyde de fer) le métal est décarburé.

Dans quelques contrées où l'obtention des fontes siliceuses n'est point aisée, on a cherché le moyen de traiter au convertisseur Bessemer des fontes peu chargées de silicium.

A Hoerde, où l'on traitait pour aciers doux des fontes d'hématite anglaises, j'ai vu employer pour acier dur des fontes peu siliceuses, fabriquées avec des mélanges d'hématites rouges, de carbonates spathiques et lithoïdes. On s'arrangeait de façon que le bain de fonte initial contînt 1 pour 100 de silicium, et 2,75 pour 100 au moins de manganèse. Avec ces proportions on arrivait à avoir une opération à peu près convenable, quoique beaucoup plus courte que celles des aciéries anglaises ou françaises. La chaleur produite par la combustion du manganèse qui s'oxyde avant le fer, et de la faible quantitié de silicium, suffisait pour donner un métal assez chaud pour acier dur. Mais on ne pouvait juger la fin de l'opération par les signes ordinaires; la fumée épaisse, produite sans doute par les oxydes de manganèse et de fer entraînés à l'état solide par le vent, empêchait de bien apprécier la couleur de la flamme, et il fallait employer la prise d'essai de la scorie.

A l'aciérie de Turrach, dans la Haute-Styrie, on mélange, dit-on, du plomb avec la fonte, et on prétend obtenir ainsi un métal meilleur. Ce plomb ne peut servir que comme combustible, et se retrouve dans la scorie. A Neuberg, on injecte avec le vent du charbon en poudre.

Je n'ai rien dit du soufre et du phosphore. L'affinage pneumatique en lui-même n'enlève pas au bain ces deux corps. Le soufre reste dans le métal décarburé; on peut cependant produire une certaine épuration à la fin de l'opération, ou tout au moins masquer la présence du soufre, par l'addition d'un spiegeleisen très-manganésifère; mais l'acier obtenu est toujours un peu rouverin, si la proportion du soufre dans la fonte dépasse quelques dix millièmes.

Quant au phosphore, on ne connaît pas encore de moyen de l'expulser du convertisseur; quand la fonte en contient une quantité un peu notable, il se produit des phénomènes calorifiques d'une très-grande intensité, le convertisseur est ordinairement très-endommagé; mais on n'a pas étudié beaucoup ce cas, comme on le comprend aisément.

M. Bessemer s'est efforcé de trouver les moyens de fabriquer de l'acier avec des fontes impures, et surtout avec des fontes renfermant un peu de phosphore. Il a essayé deux procédés différents basés tous deux sur l'élimination du phosphore dans une atmosphère oxydante par l'influence de la scorie ferreuse. On sait, en effet, que dans le puddlage ordinaire le phosphore de la fonte passe en bonne partie dans la scorie, lorsque celle-ci est suffisamment chargée d'oxyde de fer.

Dans une première manière d'opérer, qui n'est autre qu'une modifica-

tion du procédé Parry[1], M. Bessemer soumet la fonte phosphoreuse à un véritable mazéage dans un four à puddler oscillant chauffé par les gaz; puis il reprend la masse ferreuse ainsi obtenue, la recarbure en la fondant avec des matières carburées, soit au creuset, soit au cubilot, et la traite enfin au convertisseur en mélange avec des fontes grises et siliceuses suffisamment pures.

Dans un second procédé plus récent, M. Bessemer emploie uniquement son convertisseur, mais en y disposant deux soles à 90° l'une de l'autre, et munies chacune d'un jeu de tuyères. Il commence l'affinage sur la première sole, la plus petite, qui est garnie en scories comme celle d'un four à puddler, et élève d'abord la température en insufflant de l'air et en scorifiant le silicium. Puis il insuffle de la vapeur de façon à abaisser la température du bain et à produire un mélange de la scorie avec la masse ferreuse, mélange par lequel il espère absorber le phosphore. Lorsqu'il en est arrivé là, il renverse le convertisseur pour introduire une charge de fonte siliceuse et non phosphoreuse, puis il le redresse de façon à ce que tout le métal se trouve sur la sole la plus grande, et il continue comme pour une opération ordinaire. Je ne sais pas encore quels résultats pratiques ce procédé ingénieux a donnés.

Pour terminer ce qui est relatif à l'affinage pneumatique, je ferai remarquer l'importance de la masse du métal qu'on veut chauffer par les combustions intermoléculaires. Il faut que cette masse soit aussi grande que possible par rapport au poids mort, ou plutôt à la masse morte, des appareils dans lesquels on opère; il faut encore que la surface extérieure soit la plus faible possible par rapport à la masse du métal. La nécessité de satisfaire à ces deux conditions pour éviter, d'une part, l'absorption d'une trop grande quantité de chaleur par le vase, d'autre part, un refroidissement externe trop considérable, a conduit à traiter des quantités de fonte qui vont jusqu'à 10 tonnes à la fois, et à adopter les convertisseurs ellipsoïdes que l'on connaît.

Les expériences ne peuvent être faites sur de petites quantités de fonte. Les premiers essais de M. Bessemer à Baxterhouse, en 1856, portaient sur sept quintaux anglais (350 kil.) de fonte. Elles sont donc toujours coûteuses, et on comprend que les maîtres de forge marchent à pas lents dans cette nouvelle voie.

Je ferai remarquer encore que les jets de vent lancés dans le bain ne peuvent être trop rapprochés des parois de l'appareil, sous peine de les détruire rapidement; c'est pourquoi la sole du convertisseur Bessemer

1. M. Parry, ingénieur chimiste des usines d'Ebbw-Vale (pays de Galles), est l'inventeur d'un procédé de fabrication d'acier qu'on trouvera décrit dans l'ouvrage de M. Gruner : *De l'Acier et de sa fabrication.*

doit avoir un diamètre moins grand que le ventre, et ne pas présenter de tuyères trop près de ses bords [1].

III. — AFFINAGE PAR LA VAPEUR D'EAU.

Supposons que dans le bain de fonte déjà considéré, séparé de toute source extérieure de chaleur, nous faisons arriver des courants très-divisés de vapeur sèche, les gains et pertes de chaleur seront :

		Gains.	Pertes.
Combustion	de 20^{k} silicium : 2 $\times$29502	59004	
—	de 42^{k},50 carbone : 4,25$\times$36252		154071
—	de 87^{k},50 fer, etc. : 8,75$\times$ 1214		10622
		59004	164693

solde en perte 105689 calories.

En admettant, comme tout à l'heure, que la capacité calorifique du fer fondu soit 0,16, on voit que la température du bain s'abaisserait de 700° environ, non compris le refroidissement du vase, et qu'au lieu d'obtenir un métal fluide, on n'aurait plus qu'une masse plus ou moins pâteuse de fer mélangé d'oxyde de fer. Il faut remarquer toutefois que, le silicium brûlant le premier, et avant le carbone, il se manifestera d'abord une certaine élévation de température ; mais bientôt, lorsque le silicium aura disparu, il y aura une absorption considérable de chaleur par la décomposition de la vapeur d'eau. Les molécules de la masse fluide perdront beaucoup de leur mobilité, et les réactions subséquentes s'effectueront difficilement d'une manière homogène, dans toute l'étendue de la masse. De plus, comme la quantité de vapeur introduite est plus difficile à doser que les injections d'air, on introduira presque forcément un excès de vapeur qui produira encore du refroidissement.

Il est utile de faire remarquer ici que, dans les calculs ci-dessus, j'ai supposé que les produits gazeux de l'affinage (hydrogène et oxyde de carbone) s'échappaient à la température de 1400°. Il n'en est évidemment pas ainsi, et ces gaz sortent à une température bien moindre, 500 à 600 degrés peut-être. Mais nos conclusions restent les mêmes, puisque si on refait les calculs sur cette température, on trouve encore une

1. Voir au sujet de l'acier Bessemer le très-intéressant travail de M. Frémy, l'*Acier en* 1867, page 462 du tome V des *Rapports du Jury international*. Je n'en dis pas plus long sur le procédé pneumatique, afin de ne pas répéter ce qui a été dit déjà ailleurs.

Il est à peine besoin de faire remarquer que je n'ai parlé que du mode de travail usité en France, en Angleterre et en Allemagne (c'est-à-dire avec décarburation complète du bain et recarburation subséquente), et non du mode usité en Suède.

perte de plus de 60,000 calories pour le bain, sans compter le refroidissement extérieur.

L'affinage à la vapeur ne réussit donc pas dans une fonte à Bessemer, non plus que dans une fonte aciéreuse ordinaire (très-carbonée, manganésifère et peu siliceuse). Pour ne pas avoir un abaissement théorique (toujours moindre que l'abaissement réel) de température, il faudrait une fonte peu carbonée et très-siliceuse, contenant, par exemple, 3 à 5 pour 100 de silicium, et 2 à 3 pour 100 seulement de carbone. Avec une pareille fonte et une injection de vapeur bien réglée, on arriverait peut-être à décarburer en conservant la fluidité. Mais des fontes aussi siliceuses et aussi peu carbonées sont des fontes exceptionnelles qu'on n'obtient pas dans une allure régulière de haut-fourneau; ce sont des fontes d'engorgement en allure sèche, très-difficiles à refondre. De plus elles ne peuvent provenir que de minerais relativement pauvres en fer, non manganésés, comme ceux des terrains secondaires et tertiaires, et ces minerais sont toujours plus ou moins phosphoreux.

On comprend maintenant pourquoi les essais prolongés, effectués par M. Guest, vers 1845, dans la grande usine de Dowlais (Pays de Galles), pour l'affinage à la vapeur, soit dans un bas foyer, soit dans un four à réverbère, n'ont pu réussir malgré les espérances d'abord conçues à la suite des premières expériences. M. Truran, ingénieur de Dowlais et auteur du grand ouvrage de métallurgie bien connu : *The manufacture of Iron in Great-Britain*, décrit ces essais en disant pourquoi ils ont dû être abandonnés. Le même ingénieur déclare encore (voir *The Useful Metals and their Alloys*, page 226) que les essais plus récents de M. Nasmyth ont confirmé ce fait que l'injection de la vapeur dans un bain de fonte abaissait la température du bain.

M. Percy, professeur de métallurgie à l'École des mines de Londres, fait la même déclaration, et s'élève contre M. Bessemer pour avoir dit dans ses premiers brevets qu'il fabriquait de l'acier fondu par des injections de courants d'air *ou de vapeur*, attendu qu'on ne saurait fabriquer de l'acier fondu avec des injections de vapeur[1]. Les essais faits en France, à Ruelle notamment, depuis une dizaine d'années, par M. Galy-Cazalat, n'ont rien produit jusqu'à présent qui soit bien différent des résultats obtenus en Angleterre[2],

On a espéré dans l'affinage à la vapeur, utiliser l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau pour épurer le bain du soufre et du phosphore contenus. Je ne connais pas d'expériences et d'analyses authentiques qui démontrent qu'il en est bien ainsi, et on peut fortement douter de l'efficacité épurante de l'hydrogène. Le soufre disparaît plus volontiers sous une action oxydante que sous une action réductive; l'affinité

1. Voir Percy-Petitgand-Ronna, tome IV, pages 59 et 245.
2. Voir Gruner. *De l'Acier et de sa fabrication*, page 62.

de l'hydrogène pour le soufre n'est, du reste pas très-forte. On sait bien (voir Pelouze et Fremy) qu'un courant d'hydrogène passant dans un tube de porcelaine sur du soufre porté à une haute température se transforme partiellement en acide sulfhydrique. On sait aussi, d'après les expériences de MM. Boussingault et Bouis, que l'hydrogène, après avoir passé sur du fer ou de l'acier porté au rouge, prend l'odeur de l'hydrogène sulfuré. Mais, d'autre part, si on fait passer l'acide sulfhydrique sur du fer porté au rouge, le soufre se fixe sur le fer et on obtient de l'hydrogène. Berthier a reconnu que le protosulfure de fer est indécomposable par l'hydrogène, même aux plus hautes températures. M. Regnault a démontré qu'en chauffant ce même protosulfure pur pendant trois heures dans un courant de vapeur d'eau, il ne perdait que la moitié de son soufre. Quant à l'hydrogène phosphoré, c'est un corps peu stable, et je ne crois pas pour mon compte que la faible affinité de l'hydrogène puisse vaincre la puissante affinité du fer pour le phosphore. Il ne faut pas oublier, du reste, que le soufre et le phosphore sont très-délayés dans le bain, où ils se trouveront à la dose de quelques millièmes tout au plus.

IV. — AFFINAGE PAR L'OXYGÈNE.

Il n'y a pas encore eu, au moins à ma connaissance, d'essais d'affinage direct par l'oxygène pur, ou seulement par l'air suroxygéné. Le procédé Tessié du Mottay pour la fabrication économique de l'oxygène en amènera peut-être, si ce gaz est en effet obtenu à un bon marché suffisant.

Mais on s'occupe depuis un an environ, en Angleterre, d'un système de fabrication de l'acier avec les fontes phosphoreuses — *le procédé Heaton* — qui n'est autre qu'un affinage par l'oxygène. On place dans le fond d'un convertisseur, qui a la forme d'un cubilot chambré, une certaine quantité d'azotate de soude, que l'on recouvre avec une plaque de fonte percée de trous et destinée à l'empêcher de monter à la surface du bain, lorsqu'on vient remplir le cubilot avec une charge de fonte incandescente. Il se produit une réaction tumultueuse, et, lorsque le calme est rétabli, on extrait du cubilot un métal tantôt pâteux, tantôt liquide, qui est du fer presque décarburé. La chaleur décompose, comme on sait, l'acide azotique en oxygène et en azote; l'oxygène produit la combustion du silicium et du carbone, et son énergique action oxydante, jointe à la présence d'un alcali, fait passer le phosphore dans les scories à l'état de phosphate de soude.

Il est certain, d'après les analyses dont j'ai eu connaissance, que les scories du procédé contiennent une quantité notable de phosphate de soude; il reste à savoir si tout le phosphore du métal disparaît ainsi, et si l'épuration est plus complète que dans l'affinage ordinaire, où agissent seulement l'air et les silicates basiques de fer.

On a constaté, en appliquant le procédé Heaton à des fontes grises siliceuses et à des fontes blanches froides, toutes deux de la Moselle, que les fontes grises siliceuses donnaient un métal plus chaud et plus longtemps liquide que les fontes blanches qui ne renferment presque pas de silicium. Ce fait établit une fois de plus l'importance du rôle du silicium dans ces procédés d'affinage avec chauffage par combustions intermoléculaires.

M. H. Bessemer a imaginé des dispositions particulières, qui paraissent plus commodes que celle de M. Heaton, pour employer le nitrate de soude dans des convertisseurs oscillants et pour pouvoir couler dans des lingotières le métal affiné. Mais elles n'ont pas encore été essayées, à ma connaissance. Il emploie le nitrate de soude, soit à l'état pulvérulent en l'injectant avec le vent, soit à l'état fondu liquide en l'introduisant par jets sous pression, soit à l'état fondu, solide et massif.

V. — CONCLUSION.

Dans chacun des trois systèmes d'affinage qui viennent d'être examinés, le chauffage du bain de fonte est obtenu, ou essayé, au moyen de la combustion des éléments divers de la fonte par l'oxygène.

Il n'y a pas, en effet, d'autre combùrant qui soit aussi facile à obtenir, et qui produise, par sa combinaison avec le silicium et le carbone, une quantité de chaleur aussi considérable. On apprendra peut-être à tirer parti, pour l'épuration, de l'affinité du chlore pour le soufre et le phosphore; mais, malgré la haute température produite par la combustion du fer dans le chlore, il n'est pas probable que ce gaz soit jamais employé pour produire un chauffage intermoléculaire.

On a proposé, dans ces derniers temps, de chauffer le bain de fonte contenu dans un convertisseur, en faisant arriver au fond un ou plusieurs jets doubles d'hydrogène et d'air, formant des espèces de dards de chalumeau. On espère utiliser ainsi, au sein de la masse métallique, la quantité considérable de chaleur produite par la combustion de l'hydrogène, et porter le bain à une température excessivement élevée.

Mais ces prévisions ont peu de chances de se réaliser. L'hydrogène et l'oxygène de l'air, arrivant sous une pression assez forte, par deux orifices très-voisins, ou par le même orifice, pourront bien se combiner d'abord, au moins partiellement, en produisant de la vapeur d'eau et de la chaleur; mais bientôt la force de dissociation l'emportera, et les deux gaz reprendront leur liberté en absorbant autant de chaleur qu'ils en avaient d'abord engendré. Le chauffage intermoléculaire se produira comme si on avait insufflé de l'air seulement, sauf que l'hydrogène emportera une partie de la chaleur produite. Le combustible sera encore l'un ou l'autre des éléments de la fonte.

Il en sera encore de même si, au lieu d'injecter de l'hydrogène, on se sert de gaz d'éclairage provenant de la distillation de la houille, ou de gaz à l'eau provenant de la décomposition de la vapeur par le coke incandescent; seulement, dans ces deux cas, l'hydrogène carboné de l'un, ou l'oxyde de carbone de l'autre, pourront retarder la décarburation complète du bain en exerçant une certaine action recarburante. On a dû essayer dernièrement, à l'usine impériale de Guérigny, un système de chauffage et d'affinage de cette nature, imaginé par M. Archereau; je n'ai pas connaissance des résultats obtenus. L'élément comburant étant toujours l'oxygène, plus ce gaz est délayé dans d'autres gaz (azote, hydrogène, oxyde de carbone), moins le chauffage doit être énergique.

NOTE

SUR

LES SOLIDES ISOTROPES ET SUR LES TREILLIS ISOTROPES

APPLICATION AU CALCUL DES PONTS ET CHARPENTES[1]

PAR EM. **DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ**

CHAPITRE PREMIER.

Introduction.

§ I. — ISOTROPIE veut dire, selon l'étymologie, parité entre toutes les directions, et de là indifférence de l'orientation pour les propriétés.

Mais quelles propriétés? — Géométriques? — Non, car l'isotropie géométrique est impossible à réaliser, à moins de supposer la continuité de la matière. — Élastiques? — Oui, tel est le sens d'après lequel on entend cette locution de M. Cauchy; encore suppose-t-on tacitement que, dans toutes les directions, les déformations élastiques sont non-seulement constantes, mais encore symétriques par rapport aux effets qui les produisent. En sorte qu'une traction ou compression uniforme N_1, exercée, par exemple, dans le sens ox, produise une déformation :

$$(1) \qquad \begin{cases} u = ax, \\ v = by, \\ w = bz; \end{cases}$$

en désignant (avec M. Lamé, dont nous adoptons en général toutes les notations) par u, v, w, les variations respectives des trois coordonnées

---

1. On trouvera au compte rendu de la séance du 22 janvier 1869 [1] un résumé purement descriptif du présent Mémoire : résumé que nous espérons devoir être utile aux praticiens. — Il forme introduction.

Dans un second Mémoire, nous comptons parler des corrections, donner des applications numériques, et confronter les solutions présentes avec celles que nous avons sommairement indiquées en 1865 [2].

[1] Page 57.

[2] Séance du 6 janvier 1865.

x, y, z. Les rapports $\frac{a}{N_1}$ et $\frac{b}{N_1}$ demeurent constants, quelle que soit l'orientation des trois axes ox, oy, oz, supposés rectangulaires. De même, une force de glissement uniforme T_3, parallèle au plan xoy, et exercée tangentiellement aux sections planes parallèles aux plans zox et zoy, produira une déformation :

$$(2) \qquad \begin{cases} u = gy, \\ v = hx, \\ w = o. \end{cases}$$

$\frac{g+h}{T_3}$ demeure constant, quelle que soit l'orientation des trois axes rectangulaires ox, oy, oz.

§ 2. — Les équations d'élasticité d'un solide isotrope, données par M. Lamé dans la sixième de ses leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité, s'écrivent, en substituant à la dilation θ sa valeur

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} :$$

$$(3) \qquad \begin{cases} N_1 = (\lambda + 2\mu)\frac{du}{dx} + \lambda\frac{dv}{dy} + \lambda\frac{dw}{dz}, \\ N_2 = (\lambda + 2\mu)\frac{dv}{dy} + \lambda\frac{dw}{dz} + \lambda\frac{du}{dx}, \\ N_3 = (\lambda + 2\mu)\frac{dw}{dz} + \lambda\frac{du}{dx} + \lambda\frac{dv}{dy}, \\ T_1 = \mu\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right), \\ T_2 = \mu\left(\frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz}\right), \\ T_3 = \mu\left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}\right). \end{cases}$$

On peut arriver à ces équations : soit par la voie très-laborieuse indiquée par M. Lamé, soit presque immédiatement par le moyen du théorème général sur la déformation que nous avons exposé d'une manière tout élémentaire dans un précédent Mémoire[1].

Ces équations, ainsi fondées *rigoureusement* sur de simples considéra-

1. Mémoire de la Société des Ingénieurs civils, 1864 ; 1er trimestre.

tions géométriques, et partant sans aucune hypothèse sur le mode de distribution et d'action réciproque des molécules, comprennent deux coefficients de substance : λ et μ.

Il y a donc sujet de se demander si l'on ne peut arriver à certaine relation entre λ et μ, en ajoutant à ces considérations géométriques une hypothèse sur l'action mutuelle des molécules. Et, en effet, si l'on admet simplement que cette action mutuelle de deux molécules est, comme celle des astres, constamment dirigée suivant la droite qui les unit, on arrive aux trois relations :

$\lambda = \mu$, — pour les milieux isotropes,
$\lambda = 2\mu$, — pour les plans-matériels isotropes,
$0 < \lambda < 2\mu$, — pour les milieux qui sont isotropes parallèlement à un certain plan.

La première de ces trois relations est connue depuis longtemps[1]; la démonstration qui nous servira à l'établir pourrait donc n'être pas neuve, mais on nous permettra de la donner, parce qu'elle implique une analyse nécessaire de la question.

§ 3. — Qu'est-ce qu'un *plan matériel?* — On nous permettra de désigner ainsi une couche de molécules, toutes situées dans un plan *oxy*, ou du moins dont les distances z, normales à ce plan, sont très-petites relativement aux rayons d'activité moléculaires.

Si nous imaginons un tel plan matériel solide, isotrope dans toutes les directions qu'il renferme, et ne subissant aucun effort normal, ses équations d'élasticité se déduiront des équations (3), en faisant $N_3 = o$, et en éliminant les cinq variables $\frac{dw}{dx}$, $\frac{dw}{dy}$, $\frac{dw}{dz}$, T_1, T_2, lesquelles n'ont plus de signification déterminée ni utile.

Le système (3) se réduit alors à :

$$(3') \qquad \begin{cases} N_1 = \dfrac{4\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu}\dfrac{du}{dx} + \dfrac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu}\dfrac{dv}{dy}, \\ N_2 = \dfrac{4\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu}\dfrac{dv}{dy} + \dfrac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu}\dfrac{du}{dx}, \\ T_3 = \mu\left(\dfrac{du}{dy} + \dfrac{dv}{dx}\right). \end{cases}$$

1. Je ne fais point en ce moment allusion à la démonstration donnée par Poisson (*Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*, tome VIII des Mémoires de l'Académie des sciences), et repoussée comme inadmissible par M. Lamé (*Leçons sur la Théorie mathématique de l'élasticité*, leçon 4, § 20, etc.); mais à *une autre* démonstration annoncée en 1861 (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome I, page 1107), par M. de Saint-Venant, lequel malheureusement n'en a fait connaître ni l'auteur, ni la nature précise.

Un plan matériel, que l'on pourrait convenir d'appeler *milieu à deux dimensions*, possède par unité de surface un certain poids spécifique, qui, rapporté à la pesanteur spécifique de l'unité de volume de la matière dont il est composé, donnera ce qu'on peut appeler l'*épaisseur moyenne* e *du plan matériel.*

Le coefficient μ de rigidité de glissement a pour expression, dans un milieu à deux comme à trois dimensions, le même rapport

$$\frac{T_s}{\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}}.$$

Dans un milieu à trois dimensions x, y, z, cela représente, étant donné un cube $abcd\ a_1b_1c_1d_1$ (fig. 1) dont la face $abcd$ se trouve dans le plan yox, le rapport $\frac{T_s}{\alpha}$, de la force tangentielle T_s (parallèle au plan yox), à la variation α que subit l'angle dièdre bad.

Dans un milieu à deux dimensions, autrement dit dans un plan matériel, μ représente le rapport de la force tangentielle appliquée aux quatre côtés ab, bc, cd, da d'un carré $abcd$, à la variation $\alpha = bab'$ que subit l'angle-plan bad; et $\frac{\mu}{e}$ représente le coefficient ramené à l'unité d'épaisseur.

§ 4. — Introduisons la relation $\lambda = \mu$ dans les équations (3), il vient :

$$(4)\quad \begin{cases} N_1 = \mu\left(3\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right), \\ N_2 = \mu\left(3\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}+\frac{du}{dx}\right), \\ N_3 = \mu\left(3\frac{dw}{dz}+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right), \\ T_1 = \mu\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right), \\ T_2 = \mu\left(\frac{dw}{dx}+\frac{du}{dz}\right), \\ T_3 = \mu\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right). \end{cases}$$

Introduisons, de même, la relation $\lambda = 2\mu$ dans les équations (3'); il vient :

$$(4')\qquad \begin{cases} N_1 = \mu\left(3\dfrac{du}{dx}+\dfrac{dv}{dy}\right), \\ N_2 = \mu\left(3\dfrac{dv}{dy}+\dfrac{du}{dx}\right), \\ T_3 = \mu\left(\dfrac{du}{dy}+\dfrac{dv}{dx}\right). \end{cases}$$

CHAPITRE DEUXIÈME.

Propositions générales sur les milieux isotropes.

§ 5. THÉORÈME. — *Dans tout milieu solide, isotrope, dont les molécules* m, m'.., *simples ou complexes, réelles ou fictives, se déplacent suivant la loi générale de déformation du milieu, et s'attirent ou se repoussent mutuellement suivant les droites qui les unissent, on a nécessairement* $\lambda = \mu$; *ou, ce qui revient au même :* $E = \frac{5}{2} G$; en désignant respectivement par E et G les deux coefficients de *rigidité de traction et de rigidité de glissement.*

— Soient m' $(x'\,y'\,z')$ et m'' $(x''\,y''\,z'')$ deux molécules, et ζ leur distance initiale; soient $u'v'w'$, $u''v''w''$, $D\zeta$, les variations respectives que subissent les variables $x'y'z'$, $x''y''z''$, ζ, par le fait de la déformation; on a :

$$(5)\qquad \zeta = \sqrt{(x''-x')^2+(y''-y')^2+(z''-z')^2},$$

et, comme nous supposons les u, v, w *très-petits :*

$$(6)\quad D\zeta = \frac{(x''-x')(u''-u')+(y''-y')(v''-v')+(z''-z')(w''-w')}{\sqrt{(x''-x')^2+(y''-y')^2+(z''-z')^2}}.$$

Si l'on admet que l'action de m'' sur m' doit varier dans une certaine limite d'une quantité Df proportionnelle à $D\zeta$, on aura :

$$(7)\qquad Df = \varphi \times D\zeta;$$

φ pouvant dépendre de la masse, de la nature et de la position des molécules, et étant, en définitive, une certaine fonction de xyz : fonction continue ou discontinue, selon que la matière est supposée continue ou discontinue.

La force Df étant par hypothèse dirigée suivant $m'm''$, ses trois com-

posantes Df_x, Df_y, Df_z, suivant trois axes rectangulaires, auront pour expressions :

$$(8)\qquad \begin{cases} Df_x = \varphi.\dfrac{x''-x'}{\zeta}\,D\zeta, \\ Df_y = \varphi.\dfrac{y''-y'}{\zeta}\,D\zeta, \\ Df_z = \varphi.\dfrac{z''-z'}{\zeta}\,D\zeta; \end{cases}$$

et en substituant à $D\zeta$ sa valeur donnée par l'équation (6) :

$$(9)\qquad \begin{cases} Df_x = \varphi.\dfrac{(x''-x')^2\,(u''-u')+(x''-x')\,(y''-y')\,(v''-v')+(x''-x')\,(z''-z')\,(w''-w')}{\zeta^2}, \\ Df_y = \varphi.\dfrac{(y''-y')\,(x''-x')\,(u''-u')+(y''-y')^2\,(v''-v')+(y''-y')(z''-z')\,(w''-w')}{\zeta^2}, \\ Df_z = \varphi.\dfrac{(z''-z')\,(x''-x')\,(u''-u')+(z''-z')\,(y''-y')\,(v''-v')+(z''-z')^2\,(w''-w')}{\zeta^2}. \end{cases}$$

Ceci posé, examinons un plan quelconque P, et, par exemple, un plan perpendiculaire aux x; la région R′ située à droite de ce plan, c'est-à-dire du côté des x positifs, exerce sur la région R″ située à gauche du même plan, une certaine force F, qui, réduite à l'unité de surface, a pour composantes (en suivant toujours les notations de M. Lamé) : N_1, T_3, T_2.

Si l'on admet que l'activité moléculaire ne s'étend sensiblement que dans un rayon très-petit, l'action $N_1 T_3 T_2$ de la région R″ ne s'exerce immédiatement que sur une couche d'épaisseur très-mince ε_P de la région R′. Imaginons maintenant dans la région R′ un petit cylindre, ayant pour base un élément superficiel ω_x du plan P, et pour hauteur ε_P. Si l'élément ω_x a une étendue suffisante, il est évident que la force qu'il subit de la part de la région R″ a pour valeur ($\omega_x N_1$, $\omega_x T_3$, $\omega_x T_2$). Or cette force, supposée nulle antérieurement à la déformation, s'obtient par la sommation de toutes les actions Df_x, Df_y, Df_z, exercées par les molécules m'' de la région R″ sur chacune des molécules m' contenues dans le petit cylindre. Donc, en représentant cette sommation par le signe Σ_{ω_x}, on a :

$$(10)\qquad \begin{cases} N_1 = \dfrac{\Sigma_{\omega_x}(Df_x)}{\omega_x}, \\ T_3 = \dfrac{\Sigma_{\omega_x}(Df_y)}{\omega_x}, \\ T_2 = \dfrac{\Sigma_{\omega_x}(Df_z)}{\omega_x}. \end{cases}$$

Substituant à Df_x, Df_y, Df_z, leurs valeurs données par l'équation (9), et posant pour abréger :

$$(11)\quad \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\Sigma_{\omega_x}\left(\varphi.\dfrac{(x''-x')^2\,(u''-u')}{(x''-x')^2+(y''-y')^2+(z''-z')^2}\right)}{\omega_x} = \Sigma_x\,(x^3u), \\ \dfrac{\Sigma_{\omega_x}\left(\varphi.\dfrac{(x''-x')\,(y''-y')\,(v''-v')}{(x''-x')^2+(y''-y')^2+(z''-z')^2}\right)}{\omega_x} = \Sigma_x\,(xyv), \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots \\ \text{etc..;} \end{array} \right.$$

il vient :

$$(12)\quad \left\{ \begin{array}{l} N_1 = \Sigma_x\,(x^2u) + \Sigma_x\,(xyv) + \Sigma_x\,(xzw), \\ T_3 = \Sigma_x\,(yxu) + \Sigma_x\,(y^2v) + \Sigma_x\,(yzw), \\ T_2 = \Sigma_x\,(zxu) + \Sigma_x\,(zyv) + \Sigma_x\,(z^2w). \end{array} \right.$$

Supposons maintenant, en premier lieu, que la force $(N_1\,T_3\,T_2)$ se réduise à N_1; la déformation (uvw) aura, dans l'hypothèse de l'isotropie, la valeur (1) déjà écrite :

$$(1)\quad \left\{ \begin{array}{l} u = ax, \\ v = by, \\ w = bz, \end{array} \right.$$

qui, substituée successivement dans les équations (12) et (3), donne contradictoirement :

$$N_1 = a\,\Sigma_x\,(x^3) + b\,\Sigma_x\,(xy^2) + b\,\Sigma_x\,(xz^2),$$

et :

$$N_1 = a\,(\lambda + 2\mu) + b\lambda + b\lambda;$$

d'où :

$$\lambda = \Sigma_x\,(xy^2).$$

Supposons, en second lieu, que la force $(N_1T_3T_2)$ se réduise à T_3; la déformation (uvw) aura, dans l'hypothèse de l'isotropie, la valeur (2) déjà écrite :

$$(2)\quad \left\{ \begin{array}{l} u = gy, \\ v = hx, \\ w = o, \end{array} \right.$$

qui, substituée successivement dans les équations (12) et (3), donne contradictoirement :

$$T_3 = g\,\Sigma_x(xy^2) + h\,\Sigma_x(xy^2),$$

$$T_3 = (g + h)\,\mu;$$

d'où :

$$\mu = \Sigma_x(xy^2).$$

Mais nous venons d'obtenir, au moyen de la précédente hypothèse :

$$\lambda = \Sigma_x(xy^2);$$

donc : $\lambda = \mu$. c. q. f. d.

§. 6. — Si l'on fait varier en position ou en direction le plan de section P, les sommes Σ varieront en général, parce que la fonction φ et l'épaisseur ε_p, limite de l'activité moléculaire, varieront également. Si, par exemple, on imagine successivement des sections suivant les plans *zox*, *xoy*, comme nous l'avons imaginé suivant le plan *yoz*, on aura six nouvelles équations, qui, réunies aux trois équations (12), donneront[1] :

$$(13)\quad \left\{\begin{array}{rl}
N_1 = & \Sigma_x(x^2u) + \Sigma_x(xyv) + \Sigma_x(xzw),\\
N_2 = & \Sigma_y(xyu) + \Sigma_y(y^2v) + \Sigma_y(yzw),\\
N_3 = & \Sigma_z(xzu) + \Sigma_z(yzv) + \Sigma_z(z^2w),\\
T_1 = & \Sigma_y(xzu) + \Sigma_y(yzv) + \Sigma_y(z^2w),\\
 = & \Sigma_z(xyu) + \Sigma_z(y^2v) + \Sigma_z(yzw),\\
T_2 = & \Sigma_z(x^2u) + \Sigma_z(xyv) + \Sigma_z(xzw),\\
 = & \Sigma_x(zxu) + \Sigma_x(zyv) + \Sigma_x(z^2w),\\
T_3 = & \Sigma_x(yxu) + \Sigma_x(y^2v) + \Sigma_x(yzw),\\
 = & \Sigma_y(x^2u) + \Sigma_y(xyv) + \Sigma_y(xzw).
\end{array}\right.$$

Je remarque à présent qu'une déformation quelconque peut, dans le voisinage de l'origine *o* des coordonnées, se représenter par les trois relations linéaires :

$$(14)\quad \left\{\begin{array}{l}
u = ax + by + cz,\\
v = a'x + b'y + c'z,\\
w = a''x + b''y + c''z,
\end{array}\right.$$

1. Pour l'établissement immédiat des neuf équations (13), je crois à peine nécessaire de faire remarquer que, si l'on effectue successivement par rapport aux plans *yoz*, *zox*, *xoy*, la sommation d'une même force composante élémentaire : Df_x, par exemple, on arrive respectivement à trois expressions de N_1 T_3 T_2, qui ne diffèrent les unes des utres que par l'indice des Σ. On peut employer dans ce calcul les notations abrégées indiquees par les équations (11).

lesquelles s'écrivent, si l'on veut :

$$(15)\qquad \begin{cases} u = x\dfrac{du}{dx} + y\dfrac{du}{dy} + z\dfrac{du}{dz}, \\ v = x\dfrac{dv}{dx} + y\dfrac{dv}{dy} + z\dfrac{dv}{dz}, \\ w = x\dfrac{dw}{dx} + y\dfrac{dw}{dy} + z\dfrac{dw}{dz}. \end{cases}$$

Substituant ces valeurs de *uvw* dans les équations (13), on aura, pour le voisinage du point *o*, les équations générales d'élasticité d'un milieu quelconque; et pour y exprimer la constance et la symétrie de l'élasticité en chaque point, on n'a qu'à identifier, après cette substitution, les équations (13) aux équations (3), et à exprimer l'égalité respective de tous les coefficients des variables indépendantes $\dfrac{du}{dx}, \dfrac{dv}{dy}$.....

On arrive ainsi à l'expression suivante des conditions évidemment nécessaires et suffisantes de l'isotropie :

$$(16)\qquad \begin{cases} \Sigma_x(xy^2) = \Sigma_x(xz^2) = \Sigma_y(yz^2) = \Sigma_y(yx^2) = \Sigma_z(zx^2) = \Sigma_z(zy^2) \begin{cases} = \lambda \\ = \mu \end{cases} \begin{matrix} \text{d'où} \\ \lambda = \mu; \end{matrix} \\ \Sigma_x(x^3) = \Sigma_y(y^3) = \Sigma_z(z^3) \begin{cases} = \lambda + 2\mu; \\ = 3\lambda = 3\mu; \end{cases} \\ \left.\begin{matrix} \Sigma_x(xyz),\ \Sigma_y(xyz),\ \Sigma_z(xyz), \\ \Sigma_x(x^2y),\ \Sigma_x(x^2z),\ \Sigma_y(y^2z),\ \Sigma_y(y^2x),\ \Sigma_z(z^2x),\ \Sigma_z(z^2y), \\ \Sigma_x(yz^2),\ \Sigma_x(y^2z),\ \Sigma_y(xz^2),\ \Sigma_y(z^2x),\ \Sigma_z(xy^2),\ \Sigma_z(x^2y), \\ \Sigma_x(y^3),\ \Sigma_x(z^3),\ \Sigma_y(z^3),\ \Sigma_y(x^3),\ \Sigma_z(x^3),\ \Sigma_z(y^3), \end{matrix}\right\} \text{nuls.} \end{cases}$$

Observons, en passant, que si la matière est distribuée symétriquement par rapport aux trois plans des coordonnées, la nullité des vingt et un derniers Σ devient évidente.

On arriverait un peu plus vite aux relations (16) par des considérations de symétrie, et après avoir substitué successivement dans les équations (13) : 1° la triple relation ($u=mx$, $v=o$, $w=o$), 2° la triple relation ($u=o$, $v=mx$, $w=o$). Mais le calcul indiqué permet peut-être de mieux analyser la question.

§ 7. Théorème. — *Dans tout plan matériel solide, isotrope, dont les molécules* m, m'.... *simples ou complexes, réelles ou fictives, se déplacent suivant la loi générale de déformation du plan (que nous supposerons d'ailleurs ne prendre aucune courbure), et s'attirent ou se repoussent mutuellement*

suivant les droites qui les unissent, on a nécessairement : $\lambda = 2\mu$*; ou ce qui revient au même :* $E = \frac{8}{3} G$.

En considérant de même dans ce plan les deux régions situées de part et d'autre d'une ligne de section oy, et sommant les actions moléculaires exercées sur un petit rectangle situé du côté des x négatifs, et qui aurait pour base un élément ω_x de l'axe des y, et pour hauteur ε_x une limite de l'activité des molécules situées de part et d'autre de la ligne oy, on arriverait [en employant les mêmes abréviations indiquées par les équations (11)] aux deux équations suivantes :

$$(12') \qquad \begin{cases} N_1 = \Sigma_x (x^2 u) + \Sigma_x (xyv), \\ T_3 = \Sigma_x (xyu) + \Sigma_x (y^2 v) : \end{cases}$$

lesquelles peuvent se déduire immédiatement des équations (12), en faisant $z = o$.

Supposons maintenant, en premier lieu, que la force $(N_1 T_3)$ se réduise à N_1; la déformation (uv) aura, dans l'hypothèse de l'isotropie, la valeur :

$$(1') \qquad \begin{cases} u = ax, \\ v = by, \end{cases}$$

qui, substituée successivement dans les équations (12') et (3'), donne contradictoirement :

$$N_1 = a \Sigma_x (x^3) + b \Sigma_x (xy^2),$$

$$N_1 = a \frac{4\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu} + b \frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu};$$

d'où :

$$\frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} = \Sigma_x (xy^2).$$

Supposons, en second lieu, que la force $N_1 T_3$ se réduise à T_3 : la déformation (uv) aura, dans l'hypothèse de l'isotropie, la valeur :

$$(2') \qquad \begin{cases} u = gy, \\ v = hx, \end{cases}$$

qui, substituée successivement dans les équations (12') et (3'), donne contradictoirement :

$$T_3 = g \Sigma_x (xy^2) + h \Sigma_x (xy^2),$$

$$T_3 = (g + h) \mu;$$

d'où :

$$\mu = \Sigma_x (xy^2).$$

Mais nous venons d'obtenir, au moyen de la précédente hypothèse :

$$\frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu} = \Sigma\ (xy^2);$$

donc

$$\mu = \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu},$$

ou :

$$\lambda = 2\mu;$$

C. Q. F. D.

§ 8. — De même que dans un milieu à trois dimensions, si l'on fait varier la ligne de section *oy*, on fait varier ε, φ, et par suite les Σ. On arrive ainsi aux équations suivantes, similaires des équations (13) :

$$(13') \qquad \begin{cases} N_1 = \Sigma_x\,(x^2u) + \Sigma_x\,(xyv), \\ N_2 = \Sigma_y\,(xyu) + \Sigma_y\,(y^2v), \\ T_3 \begin{cases} = \Sigma_x\,(xyu) + \Sigma_x\,(y^2v), \\ = \Sigma_y\,(x^2u) + \Sigma_y\,(xyv). \end{cases} \end{cases}$$

Et de même, substituant dans ces formules l'expression :

$$(14') \qquad \begin{cases} u = ax + by, \\ v = a'x + b'y, \end{cases}$$

qui peut s'écrire, si l'on veut :

$$(15') \qquad \begin{cases} u = x\,\frac{du}{dx} + y\,\frac{du}{dy}, \\ v = x\,\frac{dv}{dx} + y\,\frac{dv}{dy}, \end{cases}$$

et qui représente une déformation quelconque dans le voisinage de l'origine *o* des coordonnées, on a l'équation générale d'élasticité du plan proposé dans le voisinage du point *o*. De même, enfin, en identifiant, après cette substitution, les équations (13') avec les équations (3'), on arrive à l'expression suivante des conditions, évidemment *nécessaires* et *suffisantes*, de l'isotropie d'un plan matériel :

$$(16') \qquad \begin{cases} \Sigma_x(xy^2) = \Sigma_y(yx^2) \begin{cases} = \frac{\lambda}{2} \\ = \mu, \end{cases} \begin{cases} \text{d'où :} \\ \lambda = 2\mu; \end{cases} \\ \Sigma_x\,(x^3) = \Sigma_y\,(y^3) \begin{cases} = \frac{3}{2}\,\lambda, \\ = 3\,\mu; \end{cases} \\ \Sigma_x\,(x^2y),\ \Sigma_y\,(y^2x), \\ \Sigma_x\,(y^3),\ \Sigma_y\,(x^3), \end{cases} \Bigg\} \text{ nuls.}$$

Observons, en passant, que si la matière est distribuée symétriquement par rapport aux deux axes de coordonnées, la nullité des quatre derniers Σ devient évidente.

Enfin la même voie abrégée, déjà indiquée pour les milieux à trois dimensions, conduirait encore aux équations (16').

§ 9. THÉORÈME. — *Dans tout milieu solide, isotrope dans toutes les directions parallèles à un certain plan xoy, et dont les molécules m, m'... simples ou complexes, réelles ou fictives, se déplacent suivant la loi générale de déformation du milieu; si l'on suppose les déplacements uv (parallèles au plan xy) sensiblement indépendants de z, et inversement la déformation w (perpendiculaire au plan xy) indépendante de x et y, et sensiblement proportionnelle à z : la déformation (uv) sera identique à celle d'un certain plan matériel pour lequel la valeur $\frac{\lambda}{\mu}$ est généralement comprise entre 0 et 2, du moins si l'on suppose toujours les forces φ positives. Ou bien, ce qui revient au même, $\frac{E}{G}$ sera généralement compris entre 2 et $\frac{8}{3}$.*

Supposons le milieu soumis uniformément en tous ses points à une seule et même force normale N_1, parallèle aux x. En vertu de la symétrie supposée, N_1 ne fera naître sensiblement aucune des autres forces élastiques $N_2 N_3 T_1 T_2 T_3$. On aura donc :

$$u = ax,$$
$$v = by,$$
$$w = cz.$$

D'où, substituant dans l'expression (13) de N_1, il vient :

$$N_1 = a\Sigma_x(x^3) + b\Sigma_x(xy^2) + c\Sigma_x(xz^2). \tag{17}$$

Or, N_3 étant nul, on a, d'après les relations (13) :

$$0 = N_3 = a\Sigma_z(x^2z) + b\Sigma_z(y^2z) + c\Sigma_z(z^3). \tag{18}$$

Tirant de cette dernière équation la valeur de c en fonction des Σ, et la substituant dans l'équation précédente, il vient :

$$N_1 = \left(\Sigma_x(x^3) - \Sigma_x(xz^2)\frac{\Sigma_z(x^2z)}{\Sigma_z(z^3)}\right)a + \left(\Sigma_x(xy^2) - \Sigma_x(xz^2)\frac{\Sigma_z(y^2z)}{\Sigma_z(z^3)}\right)b. \tag{19}$$

Identifiant cette équation avec la première des équations (3') d'élasticité d'un plan matériel, on a :

$$(20)\qquad \begin{cases} \dfrac{4\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu} = \Sigma_x(x^2) - \dfrac{\Sigma_x(xz^2)\,\Sigma_x(x^2z)}{\Sigma_x(z^2)}, \\ \dfrac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} = \Sigma_x(xy^2) - \dfrac{\Sigma_x(xz^2)\,\Sigma_x(y^2z)}{\Sigma_x(z^2)}. \end{cases}$$

Observant ensuite qu'il y a, par hypothèse, parité entre x et y, et qu'ainsi, $\Sigma_x(x^2z) = \Sigma_x(y^2z)$, on peut poser :

$$(21)\qquad R = \Sigma_x(xz^2)\,\frac{\Sigma_x(x^2z)}{\Sigma_x(z^2)} = \Sigma_x(xz^2)\,\frac{\Sigma_x(y^2z)}{\Sigma_x(z^2)}.$$

Les équations (20) peuvent donc s'écrire :

$$(22)\qquad \begin{cases} \dfrac{4\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu} = \Sigma_x(x^2) - R, \\ \dfrac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} = \Sigma_x(xy^2) - R. \end{cases}$$

Supposons maintenant le milieu soumis uniformément en tous ses points à une seule et même force tangentielle T_x, parallèle au plan xy. En vertu de la symétrie supposée, T_x ne fera naître sensiblement aucune des autres forces élastiques $N_1 N_2 N_3 T_1 T_2$; on aura donc :

$$(2)\qquad \begin{cases} u = gy, \\ v = hx, \\ w = o; \end{cases}$$

valeurs qui, substituées dans les expressions (13) et (3'), donnent contradictoirement :

$$(23)\qquad \begin{cases} T_x \begin{cases} = g\Sigma_x(xy^2) + h\Sigma_x(xy^2), \\ = g\Sigma_y(yx^2) + h\Sigma_y(yx^2), \end{cases} \\ T_x = (g + h)\,\mu; \end{cases}$$

d'où :

$$(24)\qquad \mu = \Sigma_x(xy^2) = \Sigma_y(yx^2).$$

Substituant cette valeur (24) de $\Sigma_x(xy^2)$ dans les équations (22), et posant $\lambda = K\mu$, on obtient :

$$(25)\qquad \begin{cases} \Sigma_x(x^2) = 3\mu \\ R = \dfrac{2 - K}{2 + K}\,\mu. \end{cases}$$

Cette dernière équation, résolue par rapport à K, donne :

$$(26)\qquad K = -\frac{2R - 2\mu}{R + \mu};$$

elle représente une hyperbole dont les asymptotes sont les droites

$$K = -2, \text{ et } R = -\mu.$$

Si R croît de $-\infty$ à $-\mu$, K décroît de -2 à $-\infty$. Si R continue à croître, K passe à $+\infty$, puis il décroît. Pour la valeur $R = o$, on a $K = 2$: ce qui vérifie la relation $\lambda = 2\mu$ établie § 7 pour les plans isotropes.

Pour la valeur $R = \frac{1}{3}\mu$, qui correspond au cas où l'on a :

$$\Sigma_x (x^3 z) = \Sigma_x (x z^3),$$
$$\Sigma_x (z^4) = \Sigma_x (x^4),$$

c'est-à-dire où il y a parité complète entre les trois directions x, y, z, on obtient $K = 1$: ce qui vérifie la relation $\lambda = \mu$ établie § 5 pour les solides isotropes.

Enfin, lorsque la valeur de R croît de $\frac{1}{3}\mu$ à μ, K décroît de 1 à o.

Or, si l'on se reporte à l'expression de R, on voit que si les φ sont constamment positifs, tous les Σ, et par conséquent R, sont essentiellement positifs. D'un autre côté, la valeur de K ne saurait en général être négative, car cela viendrait à un fait dont l'expérience ne fournit pas d'exemple, savoir : que le milieu considéré soumis à certaine traction uniforme, parallèle à ox, par exemple, éprouverait suivant oy une *dilatation* transversale au lieu d'une contraction. Il ne faut donc considérer que les valeurs positives de R et de K, et dès lors on voit que la valeur de K est généralement comprise entre o et 2. C. Q. F. D.

§ 10. — Les trois démonstrations établies dans ce chapitre, reposant seulement sur ce que les composantes Df_x, Df_y, Df_z, de la force Df, sont identiques en grandeur, position et sens, avec les projections de l'allongement $D\zeta$ multipliées par un certain coefficient φ, les trois théorèmes se trouvent étendus au cas où, sans être dirigés suivant les droites joignant les molécules, les forces mutuelles, considérées comme des droites définies en grandeur, position et sens, varient suivant la même loi de déformation qui régit le milieu. Ces trois mêmes démonstrations, ne faisant aucune mention des couples qui, dans la réaction mutuelle de molécules, pourraient s'ajouter aux forces résultantes directes que nous avons considérées, on voit que l'existence de pareils couples (si elle était possible) ne saurait infirmer aucunement les résultats obtenus.

CHAPITRE TROISIÈME.

Exemple, réalisation et usage des treillis isotropes.

§ 11. — Dans les précédents calculs, rien n'empêche de supposer que les actions mutuelles φ, développées entre chaque couple $m'm''$ de molécules, ne soient exercées par des bielles d'élasticité $\frac{1}{\varphi}$, librement articulées à leurs extrémités $(x'y'z')$ et $(x''y''z'')$. Dès lors, tous nos raisonnements se peuvent appliquer : soit, comme nous l'avons fait jusqu'ici, à des milieux composés de points matériels agissant réciproquement les uns sur les autres; soit, comme nous l'avons plutôt en vue dans ce chapitre, à des tissus formés de bielles articulées.

§ 12. — Je considère un plan matériel où les molécules, toutes égales, sont situées, comme l'indique la figure (2), aux sommets de triangles égaux, très-petits et juxtaposés; ou bien, puisque cela revient au même, un tissu régulier ayant pour élément un triangle formé de trois bielles élastiques articulées en leurs extrémités; et je cherche quelles sont les conditions de l'isotropie.

D'abord, il est nécessaire que le triangle élémentaire *oab* (fig. 2) soit équilatéral; car, en effet, supposons le *quelconque*, et imaginons une simple traction uniforme exercée sur les bielles telles que ab, parallèles à un certain axe oy. La contraction transversale devant être perpendiculaire à oy, la projection o' de o sur ab devra demeurer invariable; d'un autre côté les dilatations $D(o'a)$, $D(o'b)$ seront proportionnelles à $o'a$ et $o'b$; enfin, les bielles oa, ob, ne subissant aucun effort, s'infléchiront sans changer de longueur. Si donc nous différencions les deux équations $\overline{oa}^2 = \overline{oo'}^2 + \overline{o'a}^2$, et $\overline{ob}^2 = \overline{oo'}^2 + \overline{o'b}^2$, nous obtenons, en éliminant $[oo'.\ D(oo')]$ et remplaçant respectivement $D(o'a)$ et $D(o'b)$ par leurs valeurs proportionnelles $o'a$ et $o'b$, la simple égalité : $o'a = o'b$. Donc $oa = ob$. On aurait de même $oa = ab$. C'est donc une condition nécessaire que oab soit équilatéral. — Cette condition est en même temps suffisante.

En effet, je prends pour axe des x l'une des hauteurs oo' du triangle oab; et pour axe des y une perpendiculaire à oo' élevée au point o. Soient, pour fixer les idées, les longueurs oa, ob, ab, égales à l'unité. Supposons que les actions moléculaires φ soient nulles pour toute distance finie plus grande que un. L'écartement des molécules situées sur l'alignement oy étant égal à l'unité, les quantités $\frac{\Sigma\omega_x}{\omega_x}$, relatives à la ligne

de section oy, s'obtiendront simplement en sommant les forces directement exercées par les molécules a et b (situées dans la région des x positifs) sur la molécule o.

D'une autre part, l'écartement des molécules suivant l'alignement ox étant égal à $\sqrt{3}$, les quantités $\frac{\Sigma\omega_y}{\omega_y}$, relatives à la ligne de section ox, s'obtiendront en divisant par $\sqrt{3}$ les sommes des forces directement exercées par les molécules a, c, d, situées dans la région des y positifs, sur les deux molécules o et e. On obtient ainsi, en appelant φ_1 la valeur de φ correspondant à la distance $\zeta = 1$, et en se rappelant les abréviations indiquées par les formules (11) :

$$\Sigma_x(xy^2) = \varphi_1 \frac{\sqrt{3}}{4}, \qquad \Sigma_y(yx^2) = \varphi_1 \frac{\sqrt{3}}{4},$$

$$\Sigma_x(x^3) = \varphi_1 \frac{3\sqrt{3}}{4}, \qquad \Sigma_y(y^3) = \varphi_1 \frac{3\sqrt{3}}{4};$$

et comme les quatre autres Σ sont nuls, parce que le milieu est symétrique par rapport aux axes ox et oy, il se trouve que les conditions exprimées par les équations (16′) sont satisfaites, et qu'ainsi le réseau triangulaire équilatéral considéré possède une élasticité constante et symétrique dans toutes les directions; autrement dit qu'il est isotrope. C. Q. F. D.

Soit, plus généralement, ζ le côté du triangle équilatéral, le réseau possédera les mêmes propriétés élastiques qu'un plan matériel continu pour lequel on aurait, en appelant φ_ζ la nouvelle valeur de φ correspondant à la distance ζ :

$$\mu = \varphi_\zeta \frac{\sqrt{3}}{4}. \tag{27}$$

Ce réseau triangulaire peut se réaliser matériellement, par un treillis dont l'élément est formé de trois bielles oa, ob, bc, de même longueur ζ, articulées aux points oab, et possédant chacune, par unité de longueur et de section, une rigidité E_b égale à $\frac{\varphi_\zeta \zeta}{s}$.

§ 13. — On peut donc, dans la détermination d'une poutre ou d'un pont, calculer une âme pleine, fictive, possédant un certain coefficient μ, pour lui substituer, d'après la relation (27), un treillis réel, dont la maille soit formée de trois bielles égales, de longueur ζ, et de rigidité : $E_b = \frac{\varphi_\zeta \zeta}{s} = \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{\mu \zeta}{s}$.

Ce treillis aura les mêmes propriétés élastiques que la tôle proposée : au moins sans parler en ce moment des propriétés vibratoires.

Supposons une tôle de $0^m,001$ qui, ramenée à l'épaisseur de 1 mètre, possède pour coefficients :

$$\mu = 7,500,000,000 \text{ kilog.},$$

et

$$\lambda = 2\mu = 15,000,000,000,$$

ce qui correspond à $E = \frac{8}{3}\mu = 20,000,000,000$. On aura, eu égard à l'épaisseur réelle : $7,500,000 = \mu = \varphi_\zeta \frac{\sqrt{3}}{4}$;

d'où :

$$\varphi_\zeta = \frac{7,500,000}{\frac{1}{4}\sqrt{3}} = 17,320,000.$$

Or, d'un autre côté, si les bielles sont en fer d'une rigidité E_b égale à 20,000,000,000, comme pour la tôle proposée, on aura, si l'on suppose (pour fixer les idées) $\zeta = 0^m,50$:

$$\varphi_\zeta = \frac{s.20,000,000,000}{\zeta} = s.\ 40,000,000,000;$$

donc, $$s.\ 40,000,000,0000 = 17,320,000,$$

d'où : $s = 0^{mq},000,433$ (soit, $4\frac{1}{3}$ centimètres carrés).

Le volume du treillis est égal, pour chaque élément triangle, au produit de s par la moitié du périmètre (je dis la moitié, car chaque bielle appartient pour moitié à l'élément triangulaire contigu); soit donc :

$$\frac{s \times 1,5}{2} = 0^{mc},000,324,700.$$

Or, la surface de l'élément étant égale à :

$$\frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{8} = 0^{mq},108,200 \text{ environ},$$

on a en définitive pour le volume V de l'unité de surface du treillis : $V = 0^{mc},003$; c'est-à-dire le triple du volume $V' = 0^{mc},001$ du mètre superficiel de la tôle proposée.

§ 14. — Considérons maintenant un plan matériel où les molécules, toutes égales, sont situées aux sommets de rectangles juxtaposés de côtés $\zeta_1 = ob$, $\zeta_2 = od$ (fig. 3), supposés très-petits. Prenant pour axes ox, oy les prolongements de deux côtés contigus ob, od d'un même rectangle $obad$, supposant que les actions moléculaires φ soient nulles pour les écartements plus grands que $\zeta_3 = oa = \sqrt{\zeta_1^2 + \zeta_2^2}$, et désignant par

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ les valeurs de φ correspondantes aux écartements $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, on obtient :

$$\Sigma_x(x^3) = \frac{1}{\zeta_2}\left(\frac{\varphi_1}{\zeta_1^2}\,\zeta_1^3 + 2\,\frac{\varphi_3}{\zeta_1^2+\zeta_2^2}\,\zeta_1^3\right) = \frac{\varphi_1\zeta_1}{\zeta_2} + 2\,\frac{\varphi_3\zeta_1^3}{\zeta_2\zeta_3^2},$$

$$\Sigma_x(xy^2) = \ldots\ldots\frac{1}{\zeta_2}\left(2\,\frac{\varphi_3}{\zeta_1^2+\zeta_2^2}\,\zeta_1\zeta_2^2\right) = \frac{2\varphi_3\zeta_1\zeta_2}{\zeta_3^2},$$

$$\Sigma_y(y^3) = \frac{1}{\zeta_1}\left(\frac{\varphi_2}{\zeta_2^2}\,\zeta_2^3 + 2\,\frac{\varphi_3}{\zeta_1^2+\zeta_2^2}\,\zeta_2^3\right) = \frac{\varphi_2\zeta_2}{\zeta_1} + 2\,\frac{\varphi_3\zeta_2^3}{\zeta_1\zeta_3^2},$$

$$\Sigma_y(yx^2) = \ldots\ldots\frac{1}{\zeta_1}\left(2\,\frac{\varphi_3}{\zeta_1^2+\zeta_2^2}\,\zeta_2\zeta_1^2\right) = \frac{2\varphi_3\zeta_1\zeta_2}{\zeta_3^2}.$$

Les six autres Σ sont nuls par suite de la symétrie du milieu relativement aux axes ox et oy.

Donc, pour satisfaire aux conditions (16') de l'isotropie, il faut et il suffit que l'on ait :

$$(28)\qquad \frac{\varphi_1}{\dfrac{3\zeta_2^2-\zeta_1^2}{\zeta_1\zeta_2}} = \frac{\varphi_2}{\dfrac{3\zeta_1^2-\zeta_2^2}{\zeta_1\zeta_2}} = \frac{\varphi_3}{\dfrac{\frac{1}{2}\zeta_3^2}{\zeta_1\zeta_2}} = \mu,$$

ce qu'il sera toujours possible de réaliser matériellement, par un treillis formé de bielles ob, od, oa, db, etc., articulées aux points o, b, a, d, etc., et possédant respectivement des rigidités proportionnelles aux valeurs ci-dessus désignées (28) de $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. En appelant E_b le coefficient de rigidité de traction de ces bielles par unité de longueur, et en appelant s_1, s_2, s_3 leurs sections, on aura :

$$\varphi_1 = \frac{s_1 E_b}{\zeta_1}, \quad \varphi_2 = \frac{s_2 E_b}{\zeta_2}, \quad \varphi_3 = \frac{s_3 E_b}{\zeta_3};$$

donc les relations (28) peuvent s'écrire :

$$(29)\qquad \frac{s_1}{\dfrac{\mu}{E_b}\,\dfrac{3\zeta_2^2\zeta_1-\zeta_1^3}{\zeta_1\zeta_2}} = \frac{s_2}{\dfrac{\mu}{E_b}\,\dfrac{3\zeta_1^2\zeta_2-\zeta_2^3}{\zeta_1\zeta_2}} = \frac{s_3}{\dfrac{\mu}{E_b}\,\dfrac{\frac{1}{2}\zeta_3^3}{\zeta_1\zeta_2}} = 1.$$

Vérification. Supposons :

$$\zeta_2 = \zeta_1\sqrt{3}; \text{ on a } \zeta_3 = 2\zeta_1,$$

d'où il résulte :

$$s_1 = \frac{\mu}{E_b}\,\frac{8\zeta_1}{\sqrt{3}},$$

$$s_2 = 0,$$

$$s_3 = \frac{\mu}{E_b}\,\frac{4\zeta_1}{\sqrt{3}};$$

donc $s_3 = \frac{1}{2}s_1$. On retombe ainsi sur le cas du treillis triangulaire dé-

rivé, représenté fig. 11, et dont nous parlerons plus tard; ou plutôt, sur le cas de la superposition de deux de ces mêmes treillis (représentés fig. 11), et ayant pour éléments respectifs (fig. 3) les triangles *goc* et *hdb*.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer, que chaque bielle latérale appartenant également aux deux éléments dont elle forme la séparation, le poids $P\zeta_1\zeta_2$, d'un élément de côtés ζ_1, ζ_2 et de poids spécifique P, se compose : 1° des poids p_1 et p_2 d'une bielle latérale de chaque espèce, 2° des poids $2p_3$ des deux bielles diagonales qu'il renferme. Donc on a :

$$P\zeta_1\zeta_2 = p_1 + p_2 + 2p_3.$$

§ 15. — Supposons que le rectangle *obad* soit un carré, on a alors :

$$\zeta_2 = \zeta_1, \text{ et } \zeta_3 = \zeta_1\sqrt{2};$$

donc,

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 2\varphi_3 = 2\mu,$$

et :

$$s_1 = s_2 = s_3\sqrt{2} = \frac{2\mu}{E_b}\zeta_1. \tag{30}$$

De là résulte ce fait remarquable, que *dans le treillis isotrope à élément carré, les volumes* $v_1 = s_1\zeta_1$, *et* $v_3 = s_3\zeta_3$, *de la bielle latérale et de la bielle diagonale, sont égaux*. Et comme on verra plus tard (§ 21), qu'à élasticité égale, le volume, et ainsi la masse, d'un plan matériel continu sont le *tiers* de ceux d'un treillis isotrope quelconque composé de la même substance, il en résulte que, si l'on se propose de transformer en un treillis à maille carrée de côté ζ un plan matériel continu d'un poids δ par unité de surface, le poids théorique p de chaque bielle tant diagonale que latérale sera :

$$p = \frac{3}{4}\delta\,\zeta^2;$$

poids théorique, c'est-à-dire ne comprenant pas les assemblages.

Exemple. — Soit $\delta = 4$ kilog., et $\zeta = 0^m,50$, on a $p = 0^{kg},75$, ce qu'il est aisé de vérifier.

§ 16. — Considérons de même un treillis ayant pour élément un cube *oabc* (fig. 4), formé de 28 bielles, savoir :

12 bielles latérales *oc*, *ob*, *oa*, etc., d'égale rigidité φ_1, 12 bielles diagonales-latérales *og*, *cb*, *od*, etc., d'égale rigidité φ_2, et enfin 4 bielles diagonales-intérieures, *of*, etc., d'égale rigidité φ_3.

Les premières bielles appartiennent également à quatre éléments cubiques dont elles constituent l'arête de séparation. Les secondes appartiennent par moitié à deux éléments dont elles occupent la face de con-

tact. Enfin les troisièmes appartiennent tout entières à l'élément dans lequel elles se trouvent.

Si donc on désignait par p_1, p_2, p_3 les poids respectifs de ces trois espèces de bielles, le poids $P\zeta^3$ d'un élément de côté ζ, et de poids spécifique P, aurait pour valeur :

$$P\zeta^3 = 3p_1 + 6p_2 + 4p_3.$$

Les premières bielles étant supposées de longueur $\zeta_1 = 1$, les deuxièmes auront pour longueur $\zeta_2 = \sqrt{2}$, et les troisièmes auront pour longueur $\zeta_3 = \sqrt{3}$.

En suivant encore la même voie que pour le tissu rectangulaire, on obtient, pour conditions nécessaires et suffisantes de l'isotropie, les relations :

$$(31)\quad \begin{cases} \varphi_1 + 2\varphi_2 + \frac{4}{3}\varphi_3 = 3\mu, \\ \varphi_2 + \frac{4}{3}\varphi_3 = \mu, \end{cases}$$

d'où :

$$s_1 E_b + \frac{2 s_2 E_b}{\sqrt{2}} + \frac{4 s_3 E_b}{3\sqrt{3}} = 3\mu,$$

$$\frac{s_2 E_b}{\sqrt{2}} + \frac{4 s_3 E_b}{3\sqrt{3}} = \mu.$$

Il y a donc indétermination ; et si l'on fait arbitrairement, par exemple, $\varphi_3 = o$, c'est-à-dire si l'on supprime les bielles diagonales intérieures, il vient :

$$s_1 = \frac{s_2}{\sqrt{2}} = \frac{\mu}{E_b}.$$

De là résulte ce fait remarquable : que dans le treillis isotrope à élément cubique, sans bielle diagonale-intérieure, le volume $v_1 = s_1\zeta_1$, et ainsi le poids, des bielles latérales est moitié de celui des bielles diagonales-latérales ; et que par conséquent :

$$P\zeta^3 = 3p_1 + 6(2p_1) = 15p_1.$$

Or, nous verrons (§ 23), que dans les treillis à trois dimensions, de poids spécifique P et de rigidité μ, formés de bielles de poids spécifique δ et de rigidité (de traction) marquée par E_b, on a, pour expression du volume $V = \frac{P}{\delta}$ des bielles contenues dans l'unité de volume des treillis.

$$\frac{P}{\delta} = 6\,\frac{5\mu}{2E_b} = \frac{15\mu}{E_b}.$$

Donc on peut transformer en treillis cubique un milieu fictif, isotrope et continu, par les deux simples relations :

$$P\zeta^3 = 15\,p_1, \quad \text{et} \quad p_1 = \frac{\mu\,\zeta^3\,\delta}{E_b}.$$

EXEMPLE.— Soit $\mu = 50{,}000{,}000$ et $\zeta = 1^m.00$; soit $E_b = 20{,}000{,}000{,}000$ le coefficient de rigidité des bielles supposées en fer; soit enfin le poids spécifique du mètre cube de fer, $\delta = 7{,}800$ kilog., on a :

$$p_1 = 19^{kg}.5,$$

d'où :

$$s = 0^{mq}.0025;$$

et :

$$P = 15\,p_1 = 292^{kg}.5 :$$

ce qui représente le poids spécifique du treillis.

§ 17. — On peut traiter de la même manière le cas général d'un tissu analogue à élément parallélipipédique, ou d'un tissu-plan à élément parallélogramme (fig. 5).

Dans ces deux cas généraux rentrent respectivement le cas d'un tissu de tétraèdres (fig. 6), ou le cas déjà traité d'un tissu triangulaire (fig. 2).

Le tissu de tétraèdres réguliers n'est point isotrope, car une simple traction exercée sur les arêtes parallèles à ab n'aura pour effet que d'ouvrir les angles dièdres dc. L'arête dc se rapprochera de ab, mais sans changer de longueur. Donc il y aura dans les plans perpendiculaires à ab ; 1° contraction finie perpendiculairement à cd; 2° contraction nulle parallèlement à cd. Donc, on n'a pas d'*isotropie*.

§ 18. — Si l'on considère les équations (8), on voit que les bielles élastiques n'interviennent que par leur rigidité φ et par les composantes

$$x'' - x',\ y'' - y',\ z'' - z'$$

de leur longueur. De là résulte qu'on peut, sans rien changer à l'élasticité des tissus, transporter ces bielles parallèlement à elles-mêmes; à la condition, toutefois, que les extrémités $m'\,m''$ demeurent respectivement dans les éléments cylindriques à base commune situés de part et d'autre des plans de section.

Il est d'ailleurs entendu qu'une bielle ne peut être articulée qu'à ses deux extrémités.

Prenons, par exemple, les tissus à élément carré ou rectangle représentés figure 3 et figure 7; transportons les bielles mn, $m'n'$..., etc., parallèlement à elles-mêmes, et respectivement sur les bielles pq, $p'q'$, etc.; ou bien réunissons de même, de deux en deux, les bielles diago-

nales rs, rw, etc., et nous aurons de nouveaux tissus isotropes représentés par les figures 8, 9 et 10.

On peut encore considérer la forme indiquée par la figure 10, comme dérivée de la forme primitive indiquée par la figure 7, en disposant en quinconce les éléments primitivement juxtaposés. Il y aurait encore d'autres combinaisons.

Prenons de même le tissu à élément triangle équilatéral (fig. 2); transportons les bielles mn, $m'n'$..., etc., sur les bielles pq, $p'q'$..., etc., et nous aurons un nouveau tissu isotrope, représenté par la figure 11.

§ 19. — En superposant divers tissus isotropes, de telle manière qu'on voudra (et ainsi qu'il est représenté, par exemple, figure 12, pour deux tissus triangulaires), on obtient encore un tissu isotrope.

§ 20. — *Le volume et par suite le poids de divers treillis isotropes possédant les mêmes coefficients d'élasticité est une quantité constante.*

Considérons, en effet, divers treillis soumis à la même dilatation uniforme :

$$u = ax,\ v = ay,\ w = az;$$

il arrivera, d'un côté, en vertu de l'égalité supposée des coefficients élastiques, que dans cette dilatation le travail élastique T correspondant à l'unité de volume sera constant dans tous ces tissus; d'un autre côté, que chacune des bielles de ces divers tissus, s'allongeant d'une même quantité a par unité de longueur, absorbera un travail élastique marqué par :

$$t = s \times E_b\ a \times \frac{a\,l}{2} = \frac{E_b\,s\,l\,a^2}{2}, \tag{32}$$

E_b étant le coefficient de rigidité de traction supposé commun à toutes les bielles, et l, s, désignant respectivement les longueurs et les sections de chacune d'elles, en sorte que leurs volumes v sont égaux à ls. L'expression (32) du travail t donne donc, en désignant par V le volume total des bielles contenues dans l'unité de volume :

$$T = \frac{E_b\,V a^2}{2}; \tag{33}$$

d'où :

$$V = \frac{2T}{E_b\,a^2};$$

et cette valeur de V est indépendante de la forme du tissu ; C. Q. F. D.

§ 21. — Supposons d'abord qu'il s'agisse de treillis à trois dimensions, lesquels possèdent la même rigidité μ qu'un certain solide réel, isotrope et continu. Le travail élastique T, nécessaire pour faire subir à

l'unité de volume de ce solide une égale dilatation linéaire a, dans tous sens, et ainsi une dilatation cubique égale à $3a$, aura pour valeur (le coefficient de rigidité de dilatation cubique s'exprimant par

$$\frac{3\lambda + 2\mu}{3}$$

et devenant égal à $\frac{5\mu}{3}$, lorsque $\lambda = \mu$) :

$$T = \frac{(3\ a)^2}{2} \times \frac{5\mu}{3};$$

et comme dans les milieux m, isotropes, à trois dimensions, on a[1], en vertu de la relation $\lambda = \mu$, la relation : $E_m = \frac{5}{2}\mu$, il vient :

(34) $$T = 3\,a^2\,E_m.$$

Comparant cette expression à l'expression précédente

(33) $$T = \frac{E_b\ V\ a^2}{2},$$

relative aux treillis, nous trouvons :

$$V = 6\,\frac{E_m}{E_b} = 6\,\frac{5\mu}{2\,E_b};$$

et lorsqu'on a :

$$E_b = E_m = \frac{5}{2}\mu,$$

nous trouvons :

$$V = 6.$$

Ainsi, *le volume de bielles, de treillis isotropes à trois dimensions, est sextuple du volume d'un solide continu, isotrope, de même élasticité, et composé de la même substance que les treillis considérés.*

Supposons maintenant des treillis à deux dimensions. On aura toujours pour expression du travail d'une dilatation linéaire a dans tous les sens :

(33) $$T = \frac{E_b\,V\,a^2}{2}.$$

Or, un plan matériel isotrope, continu, de même rigidité μ que les treillis considérés, devant avoir un coefficient de dilatation superficielle égal à $\frac{2}{4\mu}$, le travail correspondant à la même dilatation linéaire a, et ainsi à une dilatation superficielle $2a$, sera :

$$T = \frac{(2\ a)^2}{2} \times \frac{4\mu}{2};$$

1. Voir le tableau ANNEXE I, à la fin du Mémoire.

et comme, dans les milieux m, isotropes, à deux dimensions, on a[1], en vertu de la relation $\lambda = 2\mu$, la relation

$$E_m = \frac{8}{3}\mu,$$

il vient :

$$T = \frac{3a^2 E_m}{2}. \tag{35}$$

Comparant cette expression à l'expression précédente

$$T = \frac{E_b V a^2}{2}, \tag{33}$$

nous trouvons :

$$V = \frac{3E_m}{E_b} = 3.\frac{8\mu}{3E_b};$$

et lorsqu'on a

$$E_b = E_m = \frac{8\mu}{3},$$

nous trouvons :

$$V = 3.$$

Ainsi, *le volume de bielles, de treillis isotropes à deux dimensions, est triple du volume d'un plan matériel continu, isotrope, de même élasticité, et composé de la même substance que les treillis considérés.*

§ 22. — L'isotropie, entendue depuis l'origine de cette étude comme expression de la constance et de la symétrie de l'élasticité dans toutes les directions, n'entraîne pas du tout la constance de la puissance élastique dans toutes les directions.

Considérons, en effet, un milieu ou un tissu isotrope à deux ou à trois dimensions. Une certaine dilatation linéaire α en une certaine direction mn, correspond, quelle que soit cette direction, à un même travail extérieur, et par conséquent aussi à un même travail intérieur; mais ce travail intérieur constant se répartit néanmoins différemment sur les différentes bielles, lorsqu'on fait varier la direction mn; en sorte que la limite A d'élasticité, et par conséquent la puissance vive élastique, varient en même temps.

Prenons, par exemple, un tissu plan à élément triangulaire oab (fig. 2). Une traction uniforme N_1 parallèle au côté ob produira, suivant cette direction, une dilatation linéaire uniforme

$$\alpha = \frac{N_1}{E_b} = \frac{3N_1}{8\mu}.$$

Toutes les bielles parallèles à ob se dilateront de α, tandis que les bielles

1. Voir le tableau ANNEXE II, à la fin du Mémoire.

oa, *ab* et toutes celles qui leur sont parallèles s'infléchiront sans subir aucune dilatation. La limite d'élasticité du milieu sera précisément celle de *ob*, et par conséquent celle A′ commune à toutes les bielles. La résistance vive élastique R aura pour valeur :

$$R' = \frac{E_0 A'^2}{2}.$$

Si maintenant le sens de la traction N_1 vient de *ob* en *oo′*, cette traction supposée constante produit toujours une même dilatation α (puisque le tissu est isotrope); mais cette dilatation se répartit par moitié sur les deux bielles *ao*, *bo*, lesquelles, en réagissant, exercent une contraction sur la bielle *ab*. Le travail $\frac{1}{2} N_1 \alpha$ n'incombe plus, comme tout à l'heure, à une seule bielle *ab*; mais, au contraire, il se produit : 1° une dilatation α', de *oa* et *ob*, égale à $\frac{3}{4}\alpha$; 2° une contraction α'' de *ab*, égale à $-\frac{1}{4}\alpha$; en sorte que la bielle *ab* absorbe $\frac{1}{8}$, et chacune des deux bielles *oa*, *ob*, $\frac{1}{9}$ du travail total, et qu'enfin la limite d'élasticité correspond à une dilatation linéaire α, du treillis, égale à $\frac{3}{4}$ A′. Ainsi, en définitive, si l'on passe de la direction *ob* à la direction *oo′*, la limite d'élasticité du treillis passe de A′ à $\frac{3}{4}$ A′, et sa puissance élastique R, de $\frac{E_0 A'^2}{2}$ à $\frac{9 E_0 A'^2}{8}$. Elle est donc plus que doublée dans une évolution de 30 degrés!

Si l'on représentait en coordonnées polaires la puissance R en fonction de l'orientation ω, on aurait une courbe continue présentant six maximum et six minimum, tous équidistants de 30 degrés.

On voit par cet exemple, et en réfléchissant à ce que les corps de la nature sont tous plus ou moins réguliers et plus ou moins hétérotropes, combien la *limite d'élasticité* doit être difficile à déterminer, et combien peu nous savons ce que c'est qu'un solide d'égale résistance.

§ 23. — Comme toutes les opérations de la mécanique industrielle, la substitution des treillis isotropes aux poutres continues comportera nécessairement certaines corrections, et notamment :

1° Une correction relative à la flexion des bielles, si on les réalise simplement au moyen de fers plats, continus, boulonnés ou rivés en leurs points de croisement. Il est évident que l'importance de cette correction diminue rapidement avec la dimension linéaire L des mailles; attendu que les sections *s* des bielles doivent être (pour une égale rigidité du treillis) proportionnelles à L ou à L^2, selon que le treillis a deux ou trois dimensions; et que les moments de flexion sont, pour des formes semblables, proportionnels à s^2, et par conséquent à L^2 ou à L^4.

2° Une correction relative à la grandeur des mailles, attendu que nous avons supposé que les mailles étaient infiniment petites, et qu'ainsi, par

exemple, dans un rectangle *odab* (fig. 3), les forces $f'f''$ exercées sur les bielles parallèles *ob*, *da* étaient égales. Il n'en peut être ainsi dès que le rectangle possède des dimensions finies ; mais il est utile d'observer que cette différence des forces f', f'', ne produira *aucune* dilatation ou contraction, ni sur les deux bielles diagonales, ni sur les deux autres bielles *od*, *ba*. Le seul effet produit sera une déformation en *trapèze* du rectangle *obda*.

Moyennant corrections analogues, deux systèmes de lignes courbes se coupant de manière à former sensiblement des losanges ou des rectangles, peuvent servir à déterminer un treillis curviligne isotrope, tel que celui représenté figure 13.

Une semblable remarque pourrait s'appliquer aux treillis à trois dimensions.

§ 24. On voit, d'après tout ce mémoire, combien se justifie la vieille opinion de Poisson sur l'*unité* des coefficients d'élasticité des solides isotropes, et sur la relation $\lambda = \mu$.

Quelques physiciens avaient, il est vrai, conclu, d'après les expériences de Wertheim, à la dualité des coefficients ; mais il est évident que s'il existe réellement dans la nature des solides d'élasticité constante : ou bien l'on trouvera $\lambda = \mu$; ou bien on trouvera $\lambda \gtrless \mu$, et alors on en devra rigoureusement conclure que les molécules n'agissent pas directement suivant la droite qui les unit : chose bien peu vraisemblable. En tout cas, c'est là un important dilemme que l'expérience seule nous permettra de résoudre.

Toutefois, l'étude des tissus peut, dès à présent, rendre compte de l'anomalie que présentent les résultats de M. Wertheim.

Considérons, en effet, les tissus à élément cubique ou rectangulaire, isotropes, représentés figure 4. Sous l'effet d'une traction exercée suivant les quatre bielles parallèles à oz, les huit bielles parallèles à ox ou à oy vont éprouver une contraction latérale $\beta = \frac{1}{4}\alpha$ (le rapport $\frac{1}{4} = \frac{\beta}{\alpha}$, correspondant à $\lambda = \mu$) ; mais supposons que les bielles latérales demeurant les mêmes, les bielles diagonales deviennent plus rigides : le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$ va augmenter. Ainsi, rien d'étonnant à ce que M. Wertheim ait trouvé $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{1}{3}$ (ce qui correspond à $\lambda = 2\mu$) ; seulement, les expériences n'ont dû porter que sur des fils et sur des échantillons *hétérotropes ;* et elles ne sont pas concluantes, attendu qu'elles n'ont pas été (que nous sachions) répétées dans tous les sens.

CHAPITRE QUATRIÈME.

Étude directe des treillis.

§ 25. — Les tissus articulés, à deux ou trois dimensions, peuvent être étudiés directement sans l'intervention des propositions et des formules qui font l'objet du second chapitre.

Sans rapporter ici cette seconde méthode, absolument distincte et différente de la première, nous dirons seulement qu'elle consiste :

1° A étudier, au point de vue de la *pure géométrie*, la déformation des éléments, quadrangulaires, triangulaires, carrés, cubiques, etc.;

2° A étudier, au point de vue *statique*, les relations qui existent entre les tensions des différentes bielles;

3° A exprimer l'isotropie, et à en déduire les équations de conditions qui lient les sections, ou, si l'on veut, les élasticités des différentes bielles.

On trouve alors constamment les équations $\lambda = \mu$ et $\lambda = 2\mu$, selon que les treillis possèdent deux ou trois dimensions; et c'est là une vérification de la méthode primitive.

L'analyse des tissus triangulaires et des tissus carrés s'établit fort simplement. Prenons, par exemple, un tissu carré, et considérons l'élément *abcd* (fig. 14), composé de quatre bielles latérales *ab*, *bc*, *cd*, *da*, de section s_1, et de deux bielles diagonales *ac*, *bd*, de section s_2. D'abord, on peut aisément reconnaître que, pour qu'il y ait isotropie, il faut nécessairement que

$$s_1 = s_2 \cdot \sqrt{2}.$$

En effet, le tissu doit se comporter exactement de la même manière et sous une traction uniforme N′ dirigée suivant *ad*, et sous la même traction uniforme N″ dirigée suivant *ac*. Mais ce tissu peut être considéré comme formé par la superposition de deux systèmes : le premier obtenu par la juxtaposition d'éléments carrés *bdef*, le second obtenu par la juxtaposition d'éléments carrés *acgh*. Les bielles latérales *ac*, *de* ayant en chacun de ces systèmes une section $s_1' = s_2$, et les bielles diagonales *fd*, *ch* ayant en chacun de ces systèmes une section s_2' égale à la moitié, $\frac{s_1}{2}$, de la section des bielles latérales du système donné. Or, les deux nouveaux systèmes sont évidemment identiques; donc, sous la traction N″,

ils se déforment tous deux identiquement, de la même manière que s'ils étaient indépendants, et aussi de la même manière dont le système donné se déforme sous la traction N'. Donc il faut que l'on ait, dans chacun de ces trois systèmes, le même rapport entre les sections de la bielle latérale et de la bielle diagonale. Donc il faut avoir $\frac{s'_2}{s'_1} = \frac{s_2}{s_1}$; et, comme $s'_1 = s_2$, et que $s'_2 = \frac{s_1}{2}$, il faut avoir en définitive $s_1 = s_2\sqrt{2}$.

C. Q. F. D.

CHAPITRE CINQUIÈME.

Conclusions.

§ 26. — Nous avons établi d'un côté (§ 22) que la limite d'élasticité des treillis isotropes pouvait varier suivant la direction, et nous avons établi d'ailleurs (§ 20 et 21) qu'à élasticité égale (et sans parler encore des poids inactifs des boulons et autres pièces d'assemblage) le poids (ou le volume) des treillis à deux et à trois dimensions est respectivement *triple* et *sextuple* du poids (ou du volume) des milieux continus correspondants. Il ne faudrait pas se hâter d'en conclure à une trop grande infériorité des treillis.

En effet considérons, par exemple, un tissu triangulaire, isotrope (fig. 2). Si l'on exerce une traction uniforme dans le sens oy, il est bien vrai que les bielles pq, mn, etc., travailleront seules, que toutes les autres bielles s'infléchiront simplement sans changer de longueur, qu'ainsi *un tiers seulement* du treillis fournira un travail élastique, et que dès lors la résistance vive élastique d'un plan continu serait ici, à masse égale, trois fois plus considérable. Mais le mal provient de ce qu'il n'est pas à propos d'employer en ce cas des treillis *isotropes*. Et, en effet, rien n'empêche ici de supprimer ou de beaucoup diminuer les deux autres systèmes de bielles parallèles à oa et à ob. — De même, il est à propos d'employer des treillis *hétérotropes*, lorsque le solide est principalement soumis à deux tractions ou compressions suivant deux directions déterminées.

Dans le cas d'une simple traction de direction variable, il est aisé de voir que les treillis sont décidément inférieurs aux milieux continus, sous le rapport de la résistance vive élastique. De plus, la limite d'élasticité sera constante dans toutes les directions pour les milieux continus, tandis qu'elle pourra être variable pour les treillis, ainsi que nous l'avons vu, par exemple, pour le treillis triangulaire (§ 22); mais elle pourra devenir moins inégale, et même sensiblement constante, en préférant le tissu carré, ou mieux encore en superposant et combinant divers tissus, ainsi qu'il est, par exemple, représenté figure 12; et puis nous venons de prendre pour terme de comparaison des *milieux continus parfaitement isotropes;* or, tels ne sont pas les bois, les métaux laminés, martelés, étirés ou fondus, enfin tous les solides fournis par l'industrie et par la nature : la résistance vive élastique, la limite d'élasticité, etc., y éprouvent selon les directions des variations singulières, que ni l'algèbre ni l'expérience n'ont encore pu nous faire connaître; tandis que ces mêmes variations sont, dans les treillis, très-faciles à déterminer.

Supposons encore une dilatation ou contraction uniforme : les bielles

des milieux en treillis subiront toutes, il est vrai, une dilatation uniforme dans le sens de leur longueur ; mais comme elles sont libres de se contracter transversalement, il est presque certain, malgré le défaut complet d'expérience à cet égard, que leur limite d'élasticité A est beaucoup plus reculée que si elles éprouvaient, comme dans les milieux continus, une dilatation uniforme en tous sens. Ainsi, à masse égale, les treillis possèdent une élasticité *trois* ou *six* fois moindre, mais vraisemblablement beaucoup plus étendue ; en sorte qu'on ne nous étonnerait guère en nous disant aujourd'hui que la résistance vive élastique est proportionnelle à la *masse*, et par suite *trois* et *six* fois plus grande dans les treillis à deux et à trois dimensions.

§ 27. — Quoi qu'il en soit, les treillis possèdent toujours une *propriété* spécifique, et inestimable pour les constructeurs : c'est de former, avec tous les bois ou métaux, des milieux d'élasticité arbitraire, et surtout de *densité arbitraire*, aussi faible qu'on voudra ; aussi, quand bien même ces milieux artificiels seraient très-inférieurs aux solides de la nature, sous le rapport de la *résistance vive élastique de l'unité de masse*, ils peuvent et pourront *seuls* se prêter à ces dimensions colossales que nous donnons à nos édifices, et qu'il sera sans doute permis d'augmenter encore. Et voilà pourquoi, sans reprendre à fond le calcul des ponts et chapentes, nous avons cru intéressant d'y apporter un élément et un procédé nouveaux.

§ 28. — Et cependant, nous n'avons fait qu'effleurer dans ce travail un vaste et profond sujet, et former comme une introduction à un chapitre nouveau de la mécanique : non pas de la *mécanique physique*, c'est-à-dire *semi-rationnelle*, mais de la mécanique *purement rationnelle*.

Il ne faudrait pas analyser seulement les déformations lentes, mais aussi les mouvements vibratoires.

Pour l'ingénieur, il serait utile de passer de la considération des panneaux infiniment petits à la considération des *panneaux finis*, isotropes ou hétérotropes, afin de pouvoir mieux appliquer l'analyse au mode le plus récent et le plus goûté de constructions en fer.

Pour le physicien, pour celui qui cherche à découvrir la loi des actions moléculaires, ou à fonder enfin la base rationnelle et mathématique de la chimie, il faudrait aborder l'étude générale des tissus, ou des milieux, réguliers ou irréguliers, cristallisés ou amorphes ; et ainsi, l'on pourrait sans doute pénétrer *un peu* davantage en la connaissance de ce profond et insondable mystère qu'on appelle l'*atome*.

ANNEXE I. — *Tableau des valeurs des principaux coefficients élastiques des solides, correspondantes à diverses valeurs de* $\frac{\lambda}{\mu}$, *et rapportées à* μ.

NUMÉROS D'ORDRE.	VALEURS DIVERSES du rapport de λ à μ.	COEFFICIENT DE RIGIDITÉ de traction. $E = \frac{3\lambda + 2\mu}{1 + \frac{\lambda}{\mu}}$	RAPPORT DE LA CONTRACTION transversale linéaire, à l'allongement sous traction simple. $\frac{\lambda}{2\lambda + 2\mu} =$	COEFFICIENT DE RIGIDITÉ de contraction transversale linéaire. $\frac{3\lambda + 2\mu}{\frac{\lambda}{2\mu}} =$	OBSERVATIONS.
1.	$\lambda = 0.\mu$	$E = 2\mu$	$= 0$	$= \infty.\mu$	C'est le cas des solides fictifs que nous avons considérés dans un précédent Mémoire (Société des Ingénieurs civils, janvier 1865), pour calculer les treillis, par une solution toute différente de celle qui fait l'objet de ce nouveau Mémoire, et préférable, peut-être, pour la détermination des poutres à charge morte. Elle conduit à des treillis qui ne pèsent que *deux* et *trois* fois plus que les milieux continus correspondants: *deux* ou *trois* fois, s'il y a deux ou trois dimensions.
2.	$\lambda = \mu$	$E = \frac{5}{2}\mu$ $= 2{,}5\,\mu$	$= \frac{1}{4}$	$= 10\mu$	C'est le cas des milieux, ou treillis, isotropes à trois dimensions.
3.	$\lambda = 2\mu$	$E = \frac{8}{3}\mu$ $= 2{,}66.\mu$	$= \frac{1}{3}$	$= 8\mu$	C'est le cas des milieux, ou treillis, isotropes à deux dimensions.
4.	$\lambda = \infty.\mu$	$E = 3\mu$	$= \frac{1}{2}$	$= 6\mu$	Ce cas arrive à la nullité des forces tangentielles T (autrement dit des frottements), et à l'égale transmission des pressions normales N dans tous les sens; c'est-à-dire à la fluidité.

ANNEXE II. — *Tableau des proportions de treillis isotropes de même poids spécifique arbitraire* P, *composés de bielles toutes de même substance, et ainsi toutes de même densité* δ *et de même coefficient* E_b *de rigidité de traction.*

	DÉSIGNATION.	BIELLES DE CHAQUE ÉLÉMENT — LATÉRALES. Poids unitaire.	Nombre.		BIELLES DE CHAQUE ÉLÉMENT — DIAGONALES. Poids unitaire.	Nombre.		POIDS TOTAL de CHAQUE ÉLÉMENT de surface ou de volume.	VALEUR DU COEFFICIENT de rigidité μ des treillis.
	1.	2.	3.		4.	5.		6.	7.
TREILLIS A DEUX DIMENSIONS.	Treillis à élément triangulaire équilatéral de côté ζ.	$\frac{1}{2}\left(\frac{P\zeta^2}{2\sqrt{3}}\right)$	× 3		.....		=	$\frac{\zeta^2\sqrt{3}}{4}P$.	$\frac{\lambda}{2}=\mu=\frac{P}{8\delta}E_b$. $E_m=\frac{8}{3}\mu=\frac{P}{3\delta}E_b$.
	Treillis à élément carré de côté ζ.	$\frac{1}{2}\left(\frac{P\zeta^2}{4}\right)$	× 4	+	$\frac{P\zeta^2}{4}$	× 2	=	$P\zeta^2$.	
	Treillis à élément rectangulaire de côtés ζ_1 et ζ_2.	$\frac{1}{2}\left(P\frac{3\zeta_2{}^2\zeta_1-\zeta_1{}^3}{8\zeta_2}\right)$ $\frac{1}{2}\left(P\frac{3\zeta_1{}^2\zeta_2-\zeta_2{}^3}{8\zeta_1}\right)$	× 2 × 2	+	$\frac{P(\zeta_1{}^2+\zeta_2{}^2)^2}{16\zeta_1\zeta_2}$	× 2	=	$P\zeta_1\zeta_2$.	
TREILLIS A TROIS DIMENSIONS.	Treillis à élément cubique de côté ζ. (Sans diagonales intérieures)	$\frac{1}{4}\left(\frac{P\zeta^3}{15}\right)$	× 12	+	$\frac{1}{2}\left(\frac{2P\zeta^3}{15}\right)$	× 12	=	$P\zeta^3$.	$\lambda=\mu=\frac{P}{15\delta}E_b$. $E_m=\frac{5}{2}\mu=\frac{P}{6\delta}E_b$.
	Treillis à élément parallélipipède rectangle de côtés $\zeta_1\zeta_2\zeta_3$. (Sans diagonales intérieures)	$\frac{1}{4}\left(P\frac{3\zeta_1\zeta_2{}^2\zeta_3{}^2-\zeta_1{}^3(\zeta_2{}^2+\zeta_3{}^2)}{15.\zeta_2\zeta_3}\right)$ $\frac{1}{4}\left(P\frac{3\zeta_2\zeta_3{}^2\zeta_1{}^2-\zeta_2{}^3(\zeta_3{}^2+\zeta_1{}^2)}{15.\zeta_3\zeta_1}\right)$ $\frac{1}{4}\left(P\frac{3\zeta_3\zeta_1{}^2\zeta_2{}^2-\zeta_3{}^3(\zeta_1{}^2+\zeta_2{}^2)}{15.\zeta_1\zeta_2}\right)$	× 4 × 4 × 4	+	$\frac{1}{2}\left(P\frac{\zeta_1(\zeta_2{}^2+\zeta_3{}^2)^2}{30.\zeta_2\zeta_3}\right)$ $\frac{1}{2}\left(P\frac{\zeta_2(\zeta_3{}^2+\zeta_1{}^2)^2}{30.\zeta_3\zeta_1}\right)$ $\frac{1}{2}\left(P\frac{\zeta_3(\zeta_1{}^2+\zeta_2{}^2)^2}{30.\zeta_1\zeta_2}\right)$	× 4 × 4 × 4	=	$=P\zeta_1\zeta_2\zeta_3$.	

Observations. — Il est à peine nécessaire de faire observer que, d'après les formules inscrites dans la 7e colonne, la rigidité des treillis est proportionnelle à leur poids spécifique.

On peut, d'après ce tableau, dresser aisément les tables numériques permettant de déterminer *sans calcul* les proportions de chaque espèce de treillis.

Dans les treillis à deux dimensions, les poids unitaires des bielles latérales sont ici affectés du coefficient 1/2, parce que ces poids se partagent par moitié entre les deux éléments contigus dont chaque bielle forme la séparation.

De même, si l'on considère un treillis limité à un contour déterminé, les bielles situées sur ce contour n'appartiennent qu'à un seul élément, et doivent par conséquent n'être que la moitié des bielles homologues situées à l'intérieur.

Semblables faits se présentent pour les milieux à trois dimensions.

Nous avons omis d'autre formules moins utiles : celles (très-simples) relatives au *tissu cubique* avec *diagonales intérieures* et sans diagonales latérales; celles relatives aux tissus pyramidaux dérivés du *tissu parallélipipède*, etc.[1].

1. Nous verrons, si nous poursuivons ces études, qu'en général, les tissus à élément parallélogramme ne sauraient être isotropes, à moins que l'élément parallélogramme ne soit un losange ou un rectangle. — Une méthode abrégée, résultant de la combinaison des équations (16) ou (16'), peut faciliter beaucoup l'analyse de certains treillis.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I. — **Introduction.**

Des milieux d'élasticité constante, dits *isotropes*. — Leurs équations d'élasticité. — Considération du plan matériel. — Plans matériels isotropes. Leurs équations d'élasticité.

CHAPITRE II. — **Propositions générales sur les milieux isotropes.**

Si l'on admet que les molécules agissent réciproquement suivant la droite qui les unit, et que..., etc., le rapport des coefficients E et G, de rigidité de traction et de glissement, est égal à $\frac{5}{2}$ (ou à $\frac{8}{3}$ pour les plans matériels). — Conditions nécessaires et suffisantes de l'isotropie. — Milieux isotropes parallèlement à un certain plan. — Dilemme à résoudre par expérience.

CHAPITRE III. — **Exemple, réalisation et usage des treillis isotropes.**

Les formules établies pour des collections de points matériels s'appliquent également à des tissus formés de bielles articulées. — Tissus triangulaires, quadrangulaires, carrés, cubiques, etc. Leurs conditions d'isotropie. — Applications numériques immédiates aux calculs de ponts ou charpente (sans parler, bien entendu, des corrections ultérieures). —Tissus isotropes *dérivés* ou *composés*.—Le volume ou le poids de tissus de même élasticité est une quantité constante. — Ce poids est respectivement *triple* ou *sextuple* de celui des milieux continus isotropes de même élasticité et composés de la même substance. — Des corrections nécessaires aux praticiens. — Treillis curvilignes. — L'*isotropie* n'entraîne pas la constance de la puissance élastique dans toutes les directions. — Critique des opinions de Poisson et de Wertheim sur les coefficients d'élasticité.

CHAPITRE IV. — **Étude directe des treillis.**

Seconde méthode. — Application au tissu carré.

Chapitre V. — Conclusions.

Comparaison des propriétés élastiques dans les milieux continus et dans les treillis. Propriété spécifique des treillis : *élasticité arbitraire* ou *densité arbitraire*. Les treillis sont nécessaires à l'architecture colossale. — Insuffisance de cette étude, nécessité de l'étendre aux tissus hétérotropes, aux panneaux de dimensions finis, aux tissus vibrants et aux formes cristallines.

Annexe I. — Tableau des valeurs des principaux coefficients élastiques.

Annexe II. — Tableau des proportions de treillis isotropes, qui permet de dresser pour chaque type des *tables numériques* fournissant sans calcul les dimensions et les poids des diverses bielles.

NOTE

SUR LES LOCOMOTIVES

PAR M. LARPENT.

I

Réflexions générales.

L'examen des locomotives exposées au palais du Champ de Mars donne lieu à diverses appréciations qu'il peut être utile de présenter, surtout si elles sont d'accord avec la pratique, et appuyées par la théorie.

La locomotive a amené la révolution qui s'est opérée dans le mode de transports par terre. Le perfectionnement de ses organes influe sur la sécurité des transports; et la prospérité des chemins de fer, comme la diminution des prix de transports, dépendent des améliorations à apporter à cette admirable machine. Les locomotives qui figurent à l'Exposition doivent donc être envisagées au double point de vue de l'exécution des organes, et de la satisfaction qu'elles sont appelées à donner aux besoins, toujours croissants, du commerce et de l'industrie. Car les besoins à satisfaire stimulent au moins le progrès, s'ils ne le développent pas exclusivement.

Sous le rapport du perfectionnement des organes communs à toutes les machines, on peut dire que, depuis douze ans, aucun progrès remarquable ne s'est produit, et que, du reste, il n'y en a plus beaucoup de nécessaires. On peut avancer aussi que le fini de l'exécution des pièces mécaniques de détail, qu'on reconnaissait supérieur dans les machines françaises des précédentes expositions, ne laisse plus grand'chose à désirer dans les locomotives des autres puissances. Aussi doit-on attribuer, en partie, la régularité relative des services de chemins de fer aux soins apportés dans l'exécution des organes des moteurs qui remorquent les trains.

Il faut croire que la combustion de la fumée, qui n'a jamais eu beaucoup d'importance au point de vue économique, est d'une réalisation

assez difficile en pratique, puisque les nombreux appareils, plus ou moins fumivores, qu'on a imaginés, n'ont servi qu'à consacrer le vieux proverbe qu'il n'y a pas de feu sans fumée. Mais s'il n'est pas d'un grand intérêt de brûler complétement la fumée, il convient de pouvoir, au moins, brûler convenablement le charbon employé aujourd'hui: c'est ce qui ne peut se faire facilement dans les foyers actuels des locomotives qui ont été construits pour brûler du coke, car ils n'ont pas subi de modifications, lorsque le charbon a été substitué au coke. La profondeur des foyers est un obstacle pour diriger convenablement la combustion de la houille, qui doit être brûlée, par couches minces, sur une grille également accessible en dessus et en dessous au ringard du chauffeur.

Ainsi, on peut constater l'adoption, à peu près générale, des mêmes organes, et une différence insensible dans l'exécution des pièces de détail, dans les différents types de locomotives qui figurent à l'Exposition universelle de 1867. Mais si l'harmonie existe dans l'exécution des organes, il n'en est pas de même dans la conception des types qui sont beaucoup trop nombreux pour être tous dignes d'imitation. Cette multiplicité de types est l'indice d'une grande indécision qui règne parmi les hommes de chemins de fer, quant aux principes sur lesquels repose la locomotive. Quoi qu'il en soit, on ne peut que regretter qu'après plus de vingt années d'usage régulier d'un instrument aussi imperfectible, on ne soit pas encore arrivé à s'entendre pour adopter un type unique de chacune des espèces de machines à voyageurs, mixtes et à marchandises, généralement employées sur tous les chemins de fer.

La locomotive est un instrument de transport destiné à remorquer le poids le plus considérable à la plus grande vitesse. Elle devrait être envisagée comme un outil susceptible d'exécuter partout le même travail d'une manière identique et par les mêmes moyens. Les locomotives, étant soumises à des lois naturelles et d'intérêt public, parfaitement connues, ne devraient plus donner lieu à la coûteuse expérimentation d'idées impraticables, ou de toutes celles qu'on est surpris de voir revenir après avoir été abandonnées.

Il y aurait donc un intérêt majeur à arrêter le petit nombre de types de machines, qui pourraient satisfaire tous les besoins relatifs à la circulation des personnes et des choses, dans les différentes localités desservies par les chemins de fer.

Si la machine supportée par trois essieux est d'un usage aussi général, pour ne pas dire universel, c'est, non-seulement, parce qu'elle répond à la moyenne des besoins de tous les chemins de fer, mais encore parce qu'elle se prête à la nature des transports qui doivent être effectués à grande, à moyenne ou à petite vitesse, suivant l'espèce ou l'importance des produits à transporter. Pour que la machine à trois essieux puisse remplir, économiquement, les conditions afférentes à chacun des trois transports, à grande, à moyenne et petite vitesse, il faut qu'elle

puisse développer au besoin le maximum de puissance dont elle est susceptible.

II

De l'adhérence.

La puissance de la locomotive, comme moteur, se calculant de la même manière que celle des autres machines à vapeur, devrait être exprimée en chevaux. Le travail de la résistance n'est autre chose que le produit de l'effort exercé sur le train par le chemin parcouru. Il s'ensuit que la locomotive à grande vitesse peut produire autant de travail que la machine à petite vitesse, puisque, si le poids remorqué est relativement faible, la vitesse étant considérable, le travail brut est le même que si la vitesse est faible et le poids considérable.

On peut avancer que la mesure de la puissance d'une locomotive quelconque est déterminée par son poids, car l'élément principal de la puissance, la surface de chauffe, et *l'élément accessoire*, l'adhérence, sont dépendants du poids.

Tout le monde sait que la surface de chauffe est la partie de la chaudière entourée d'eau, qui se trouve en contact avec les gaz enflammés; mais qu'est-ce que c'est que l'adhérence, qu'il ne faut pas confondre avec la force de traction, ou l'effort transmis au centre des roues motrices pour actionner le train ?

L'adhérence est un effet de tendance au frottement de glissement qui sert de point d'appui, sur le sol, aux locomoteurs animés ou mécaniques, pour exercer leur puissance sur les résistances qu'ils doivent vaincre comme remorqueurs sur terre. Si l'adhérence n'est *qu'un point d'appui*, et non un frottement, elle ne peut absorber aucune partie de la puissance ni accroître la résistance; elle est donc sans influence sur le travail moteur ou résistant. Mais l'utilisation de l'adhérence en totalité ou en partie permet de modifier, dans un même rapport inverse, les éléments constitutifs du travail résistant, soit l'effort et la vitesse; car aux plus grands efforts, exigeant la plus grande adhérence ou les points d'appui les plus résistants, correspondent les plus petites vitesses; et réciproquement, aux plus petits efforts, nécessitant la plus faible adhérence comme point d'appui, correspondent les plus grandes vitesses.

L'adhérence est seulement en jeu lorsque le locomoteur dépense de la force pour se mouvoir lui-même ou pour remorquer en même temps l'objet auquel il est réuni. Elle est en disponibilité lorsque le locomoteur cesse d'agir par lui-même, soit qu'il demeure immobile, soit qu'il se

meuve en vertu de sa vitesse acquise ou sous l'action d'une force qui lui est étrangère.

Quand les locomoteurs prennent leur appui sur le sol avec lequel ils sont en contact, pour se déplacer en même temps que la charge qu'ils portent ou qu'ils remorquent, la vitesse du locomoteur et celle de la charge transportée sont égales, puisqu'ils parcourent en même temps le même chemin. Si la charge transportée repose directement sur le sol, elle est sollicitée par le locomoteur à se déplacer, en se mettant successivement en contact avec différents points du sol, à la manière du traîneau : on dit alors que le mouvement a lieu par frottement de glissement. Lorsque la charge repose sur le sol par l'intermédiaire de roues, comme une voiture, le locomoteur sollicite toujours directement la charge à se déplacer, et la charge entraîne ensuite les roues dont les différents points des circonférences viennent successivement en contact avec différents points du sol : on dit alors que le mouvement a lieu par frottement de roulement.

Le moteur, placé sur l'objet même qu'il doit déplacer en prenant le sol pour point d'appui de sa force, est animé de deux vitesses : l'une dite de translation ou de transport, qui est commune au remorqueur et à l'ensemble de la charge remorquée dont il fait partie, et l'autre dite motrice, spéciale au moteur qui se meut indépendamment de la charge en mouvement. Quand le moteur repose sur des roues et que le point d'appui de sa force sur le sol a lieu par l'intermédiaire des roues, comme dans la locomotive, ce sont les roues qui sont directement sollicitées à se déplacer et qui entraînent ensuite la charge.

En effet, l'effort ou la force élastique de la vapeur sur les pistons s'exerce sur le rayon de la roue, considéré comme levier, en un point placé entre le centre et la circonférence; comme l'une des extrémités du levier, celle qui est située sur la circonférence, ne cessant pas d'être en contact avec le rail, a pour point d'appui l'adhérence qui doit résister à la partie de l'effort transmis dans le rapport des bras du levier, c'est donc l'autre extrémité du levier, ou le centre de la roue, qui doit se déplacer en entraînant la charge.

Le déplacement du bateau avec la rame est produit de la même manière que le mouvement de translation de la locomotive, avec cette différence toutefois, que le bateau se déplace sous l'action alternative du moteur sur l'une des extrémités de la rame comme levier, et que le bateau à vapeur muni de roues à palettes, ainsi que la locomotive, se déplacent sous l'action continue du moteur sur l'une des extrémités du rayon des roues comme levier.

Quand l'eau ou l'adhérence, qui servent de point d'appui aux leviers sur lesquels s'exerce la force des moteurs pour déplacer le bateau ou la locomotive, font défaut, la charge n'est pas entraînée, la force est stérilisée, et le travail de la puissance, ainsi que celui de la résistance, sont annulés.

La vitesse motrice, qui n'est autre que celle du piston, est à peu près invariable, et sensiblement la même pour toutes les locomotives. La vitesse de translation, qui est celle d'un point quelconque de la circonférence extérieure des roues motrices, est toujours supérieure à la vitesse motrice, et cette vitesse de translation sera d'autant plus considérable que le point d'application de la force, *sur le bouton de manivelle*, sera plus éloigné du rail, c'est-à-dire que le rayon des roues motrices, sera plus grand.

L'adhérence fait aussi l'office de transmission de mouvement de translation de la locomotive et du train, par le contact successif des points d'appui de la circonférence des roues motrices sur le rail; elle constitue une espèce d'engrenage moléculaire, *et sans frottement*, des roues motrices et accouplées avec le rail comme crémaillère.

La résistance de ce mode de transmission de mouvement, spécial à la locomotive, qui a pour mesure celle du frottement de glissement, échappe au calcul et ne peut être déterminée que par l'expérience, parce que les dimensions des organes de cette espèce d'engrenage, invisible à l'œil, ne peuvent être mesurées, comme les courroies, les dents d'engrenages, les bielles et autres pièces qui servent à transmettre les efforts des moteurs. Les roues motrices de locomotives ne sont autre chose que des poulies fixes ou des cercles primitifs de roues dentées, dont les diamètres servent à modifier la vitesse ou l'effort à transmettre; l'adhérence remplit les mêmes fonctions que les courroies ou les dents d'engrenage.

L'expérience constate : 1° que l'adhérence est le meilleur moyen d'utiliser ou de transmettre le mouvement de la locomotive; 2° que la résistance ou l'intensité de l'adhérence est dépendante du poids dont le rail est chargé au point de contact avec les roues motrices, et indépendante de la rampe à gravir, du diamètre des roues et de la vitesse de marche; 3° qu'on peut compter sur le sixième du poids adhérent comme effort moyen de transmission de mouvement; 4° que, quand l'intensité de l'adhérence est momentanément annulée par l'interposition d'un corps lubrifiant entre le rail et la roue, *il est toujours possible de la rétablir* en son état moyen par l'interposition d'un autre corps grippant; 5° que le plus grand effort de transmission, ayant lieu au démarrage d'un train, sur une rampe quelconque, il y a plutôt à craindre une insuffisance de production de vapeur qu'à redouter un défaut d'adhérence pour maintenir la vitesse de ce train sur la même rampe.

L'expérience qu'on peut citer pour justifier l'excellence du mode de transmission de mouvement par l'adhérence, et pour démontrer en même temps la supériorité de la locomotive comme remorqueur sur rails, a été faite, d'une manière très-complète et très-concluante, durant l'été de 1855, sur la rampe du chemin de fer de Saint-Germain, par M. Arnoux, l'inventeur du matériel articulé, qui circule encore aujourd'hui sur le chemin de fer de Sceaux.

L'intéressante expérience dont il s'agit, que nous avons suivie avec

plusieurs ingénieurs de l'Ouest, pouvant au besoin rendre témoignage du résultat, avait pour but de comparer les effets du système de touage appliqué à la traction des trains, avec le remorquage ordinaire au moyen de l'adhérence.

Pour établir la comparaison entre les deux systèmes de traction, on avait placé sur l'essieu moteur d'une locomotive des tambours de rayons égaux ou inférieurs à celui de la manivelle de la roue motrice, sur lesquels s'enroulait une chaîne dont les extrémités étaient attachées à des points fixes. Le contact des roues motrices avec les rails pouvait être maintenu ou évité, à la volonté de l'expérimentateur, au moyen de cales qu'on enlevait ou qu'on plaçait entre les boîtes à graisse et les entretoises des plaques de garde. Cette disposition, comme on le voit, permettait de remorquer le même train, dans les mêmes conditions, soit au moyen du touage, ou à l'aide de l'adhérence. On a composé un train du poids maximum que pouvait démarrer la lomotive au moyen de l'adhérence, et on l'a remorqué dans des conditions différentes de vitesse, de pression, de consommation, etc.; puis on a annulé l'adhérence par le soulèvement des roues motrices, et on a remorqué le même train, à l'aide du touage, en tâchant de se placer dans les mêmes conditions que précédemment. Les expériences ont eu lieu pendant une semaine, elles ont été répétées plusieurs fois par jour alternativement, au moyen de l'adhérence et du touage; les résultats ayant toujours été en faveur de l'adhérence, on a sans doute jugé inutile de les publier, puisqu'ils s'accordaient avec la théorie et la pratique de la locomotive.

La conclusion à tirer de cette expérience, c'est qu'une machine à vapeur remorquant un train à l'aide d'une chaîne supposée indéfiniment résistante et susceptible de donner au train une vitesse inférieure à celle des pistons accomplit un travail inférieur à celui de la locomotive avec son mode de transmission de mouvement par l'adhérence.

Ce qui distingue la locomotive des autres machines à vapeur, ce qui fait sa simplicité et peut-être sa supériorité, c'est qu'elle porte avec elle la transmission de mouvement la plus simple et la plus directe, dont la résistance est une fraction du poids supporté par le rail au contact des roues motrices ou accouplées. L'énergie, l'intensité ou la résistance de l'adhérence est assez élastique, puisqu'elle varie comme le frottement suivant la nature et l'état des matières, et l'interposition de corps étrangers au contact des roues.

Mais, de même qu'il est imprudent de faire travailler les matériaux à leur limite de résistance; de même il convient de ne pas compter sur le maximum d'intensité de l'adhérence pour assurer un bon service. Quelle est donc la fraction du poids qui donne la mesure de la résistance moyenne qu'il convient d'adopter comme élément d'un bon travail de la locomotive? Cette fraction est le sixième du poids que la pratique justifie journellement par les faits qui s'accomplissent dans l'exécution du

service de la traction sur toutes les lignes de chemins de fer. Aux personnes qui considèrent la résistance de l'adhérence, au sixième du poids, comme exagérée et impraticable, il faut répondre qu'elle s'exerce souvent au delà, et que, si elle s'abaisse quelquefois au-dessous, les mécaniciens ayant toujours le moyen de la rétablir promptement, simplement et économiquement en répandant du sable sur la voie, il faut l'admettre telle quelle, puisqu'elle ne donne lieu à aucune déception, ainsi que le constate la régularité relative du service de la traction.

Ceux qui croiront ne pas devoir compter sur le sixième du poids adhérent, comme la résistance normale du mode de transmission de mouvement des locomotives, pourront faire quelques économies sur le sable à répandre sur la voie, mais à coup sûr ils n'utiliseront pas convenablement la puissance des machines.

Il est un fait bien connu, mais qui demande à être affirmé énergiquement, puisque la pratique ne suffit pas pour le rendre incontestable, c'est que la détresse des trains en route est presque toujours occasionnée, par le manque de vapeur, et rarement par le défaut de résistance de l'adhérence. Un train qui aura été démarré sur une rampe d'une inclinaison donnée, et qui restera en route sur la même rampe, pour un motif quelconque, pourra toujours être enlevé par la locomotive qui l'aura démarré. Si d'un côté, l'observation justifie l'exactitude de notre raisonnement sur le rôle qu'il convient d'attribuer à l'adhérence, et que, d'un autre côté, les faits prouvent que l'adoption de l'adhérence au sixième du poids qui charge *naturellement* les roues motrices, permet d'utiliser le maximum du travail que la locomotive est susceptible d'accomplir, à quoi peuvent tendre tous les moyens artificiels imaginés pour accroître l'adhérence dans le but d'augmenter la puissance de l'admirable moteur dont l'industrie des transports est dotée?

Suivant nous, ils ne peuvent servir qu'à compliquer la transmission de mouvement; ou bien à augmenter les dimensions des dents d'engrenages des traits d'attelage ou des courroies qui ne rompent ni ne glissent pas sous l'effort qu'elles doivent transmettre; ou bien encore à mettre du sable sous les roues motrices des locomotives qui ne patinent pas. Compliquer inutilement une transmission de mouvement, c'est absorber du travail du moteur et diminuer d'autant son effet utile. Augmenter sans nécessité les dimensions des dents d'engrenages et des courroies, etc., c'est employer un excédant de matières en pure perte. Le sable répandu sur les rails a pour effet d'augmenter la résistance des trains qui roulent alors, pour ainsi dire, sur le gravier ou le macadam; de transformer la locomotive en machine routière, et de la faire servir d'instrument à la triste idée des messageries à vapeur, qui date de cent ans. Continuons à faire des routes empierrées pour la locomotion des moteurs animés; mais gardons-nous de sortir les locomotives des voies ferrées, sous peine de perdre les avantages du nouveau moyen de transport, qui reposent

sur le rapport existant entre le frottement de glissement et le frottement de roulement du fer sur le fer.

III

Simplification des types.

On peut affirmer aujourd'hui que la mesure de la puissance d'une machine quelconque est déterminée par son poids, et que la limite de puissance d'une locomotive à trois essieux est le poids de 30 tonnes environ, qu'il n'est pas prudent de dépasser sans détériorer les organes du moteur et sans fatiguer la voie outre mesure. Le rail est fait pour résister à la pression des roues de locomotives, comme la coque d'un navire de guerre est établie pour résister au choc du boulet de canon. Les essais démontrent surabondamment que, quelle que soit la résistance des plaques de blindage, on trouve toujours un boulet qui les transperce.

Renforcer le poids des rails pour résister à l'écrasement causé par les roues des locomotives, et ensuite augmenter la charge sur les roues qui fatiguent les rails, c'est parcourir le cercle vicieux dans lequel se trouvent enserrés les arts qui se rapportent à la construction des flottes de combat.

Puisque les pièces de détail qui entrent dans la construction des locomotives sont les mêmes, ou doivent être semblables, dans tous les types, il en résulte que leur poids ne doit pas varier sensiblement; il suffirait donc de le défalquer du poids total de trente tonnes, qu'il ne faut pas dépasser, pour obtenir le poids du générateur qui détermine la surface de chauffe, qu'on obtiendrait identique. Alors on pourrait poser comme axiome que toutes les machines du même poids ont la même surface de chauffe et la même puissance. On n'aurait plus ensuite qu'à adopter des diamètres de roues identiques pour chacun des trois types de machines à trois essieux, pour être définitivement d'accord sur l'ensemble et sur les détails. Car, si la position des essieux moteurs et de support n'a pas d'influence sur le travail théorique de la machine, il n'en est pas de même, au point de vue pratique, pour le diamètre à donner aux roues qui intéresse la dépense d'entretien à cause de la détérioration plus considérable qu'éprouvent les bandages en particulier, quand ils sont d'un faible diamètre et très-chargés.

Ainsi dans la machine à voyageurs, les deux roues motrices, que nous placerions de préférence au milieu, ayant le plus grand diamètre possible, pourraient être chargées du poids maximum de douze tonnes, supérieur à celui de chacune des roues de support.

Dans la machine mixte, les deux paires de roues accouplées, que nous

préférons voir à l'arrière, ayant un diamètre encore assez grand, pourraient être chargées chacune d'un poids de onze tonnes. Enfin la machine à marchandises devrait avoir ses roues également chargées et leur diamètre ne devrait pas être inférieur à 1m,25.

Le poids de trente tonnes porté sur trois essieux étant un obstacle naturel qu'il convient de ne pas trop dépasser, pour accroître la puissance des locomotives on a augmenté la pression de la vapeur afin de pouvoir remorquer de plus fortes charges. Nous avons toujours considéré la nouvelle voie dans laquelle on s'engageait comme dangereuse, et trop limitée, pour réaliser les progrès que nécessite l'importance des transports de marchandises par chemins de fer. Nous croyons préférable de rechercher la solution du problème relatif à l'extension de la puissance des machines dans l'augmentation du poids, en le supportant sur un plus grand nombre de roues. Les faits qu'on constate viennent à l'appui de notre opinion; car les exagérations de pression, avec lesquelles les machinistes n'ont déjà que trop la funeste habitude de faire fonctionner les chaudières, accroissent les dangers d'explosion, qu'on doit redouter, sans satisfaire complétement aux besoins du trafic. La petite longueur des cylindres de locomotive ne permet guère l'emploi d'une détente prolongée, pour utiliser fructueusement la vapeur à très-haute pression. Il s'opère, en France principalement, un mouvement d'idées vers la multiplicité des essieux accouplés, dont nous sommes un des plus fervents partisans. Si ce mouvement d'idées, qui caractérise l'Exposition française de 1867, ne se manifeste pas déjà chez nos voisins d'outre-Manche et d'outre-Rhin, c'est que chez eux le besoin ne se fait pas encore assez sentir de développer la puissance des locomotives, nécessaire à l'énorme trafic de marchandises des principales lignes de notre réseau.

Il va sans dire que l'adoption de trois puissants types de machines du poids maximum, qui conviendraient également à toutes les grandes lignes à grand trafic, ne saurait exclure l'emploi de trois types analogues, quant aux formes, mais plus légers, qui conviendraient évidemment mieux pour le service des lignes à faible trafic.

IV

Appréciations de quelques systèmes de locomotives.

Parmi les idées, anciennes ou nouvelles, qui se traduisent dans les types de machines, comportant plus de trois essieux, il en est plusieurs qui nous semblent inconciliables avec les progrès que les auteurs ont en vue; ce sont : 1° celles qui consistent à charger la locomotive du poids de l'eau et du combustible nécessaire à sa consommation; 2° à reconsti-

tuer le double atelage sous la forme d'un double appareil moteur, alimenté par une seule chaudière, transmettant l'effort à deux groupes d'essieux accouplés, mais indépendants l'un de l'autre; 3° à rechercher la flexibilité, ou plutôt l'aptitude de la machine à passer dans les courbes, sans changer le parallélisme des essieux.

Les locomotives comme les moteurs animés reposent sur un certain nombre de supports, qui prennent leur appui sur le sol pour se mouvoir à des vitesses variables. La résistance de ces supports est soumise à des lois naturelles qui règlent la liberté de mouvement des moteurs et déterminent leur puissance de traction par le concours de toutes les forces répandues dans l'organisme. Il importe donc de ne pas charger directement le moteur d'un poids qui, en le fatiguant, l'empêche de développer la force dont il est susceptible pour accomplir le maximum de travail.

Or, l'organe essentiel de la force de la locomotive, c'est la chaudière qu'il convient de développer largement, parce qu'elle joue à peu près le même rôle que les poumons chez les animaux, en aspirant de l'air pur et en refoulant un mélange de vapeur et de gaz carbonique. Il est donc préférable de remorquer le poids des approvisionnements sur un véhicule spécial que d'en charger directement la machine dont la puissance peut être élevée au maximum par la transformation de ce poids en surface de chauffe.

En d'autres termes, il nous semble aussi rationnel de décharger la machine de tout poids qui n'intéresse pas directement son organisme, pour obtenir le plus grand travail possible, qu'il nous semble naturel de débarrasser la bête de somme de tout fardeau qui la chargerait directement, pour le lui faire remorquer plus utilement, en le plaçant sur un véhicule. Il ne devrait être dérogé à ce principe que dans les circonstances où la puissance de la machine est forcément limitée à tout jamais par la nature spéciale des transports qu'elle doit effectuer : comme, par exemple, sur les lignes de banlieue des environs de Paris, où la composition des trains affectés exclusivement aux voyageurs ne doit pas dépasser le nombre de vingt-quatre voitures, déterminé par la loi. Dans ce cas, il a semblé judicieux de faire porter à la machine le poids des matières nécessaires à sa consommation, pour simplifier le service, puisque son poids total ne dépassait pas trente tonnes, en conservant au générateur la capacité nécessaire pour fournir la vapeur dont on avait besoin pour remorquer le plus fort train qu'il était possible de composer.

Le reproche qu'on peut faire aux machines à quatre cylindres, c'est de réaliser les conditions du double attelage, avec tous ses inconvénients, sans offrir aucun des avantages qu'il peut présenter en certaines occasions.

Les inconvénients du double attelage résultent de l'impossibilité d'obtenir la simultanéité continuelle de l'action des éléments de la puissance motrice, par suite de l'annihilation possible de la puissance de l'un des

éléments moteurs, précisément dans les occasions où cette solidarité d'efforts est le plus nécessaire : comme, par exemple, dans le démarrage ou le franchissement d'une rampe de forte inclinaison. En effet, l'adhérence totale du moteur étant indispensable pour démarrer un train, ou pour maintenir sa vitesse sur une rampe, il en résulte que, si la moitié de l'adhérence vient à manquer, l'autre moitié étant insuffisante pour vaincre toute la résistance, la puissance totale se trouve paralysée. C'est précisément ce qui arrive dans des circonstances climatériques ou autres, qui diminuent l'adhérence. Avec deux machines en tête d'un train, la machine placée en avant patine ou piétine ordinairement la première et est annihilée pendant un moment, durant lequel la seconde machine est rarement suffisante pour vaincre, à elle seule, la résistance du train. C'est alors que le manque de solidarité des moyens d'action des deux machines occasionne des difficultés, suscite des embarras et entraîne des pertes de temps si préjudiciables à la régularité du service.

Un exemple se rapportant encore aux moteurs animés viendra appuyer notre objection et compléter notre pensée :

Supposons que les efforts réunis de six chevaux soient employés à remorquer un fardeau sur une forte rampe d'une route ordinaire. Si deux ou trois chevaux viennent à glisser, à piétiner ou à perdre pied, il est évident que les efforts réunis des autres étant insuffisants pour maintenir la vitesse, celle-ci se ralentira, ou cessera même complétement, si la puissance entière de l'attelage n'est pas bientôt réorganisée. Si la simultanéité des efforts de tous les chevaux ne peut pas être obtenue, il faut bien en subir les inconvénients; mais on peut heureusement les éviter dans l'emploi de la locomotive, en solidarisant les efforts par l'accouplement de toutes les roues. Les autres inconvénients du double attelage sont de compliquer le moteur et d'augmenter sensiblement les chances d'avaries et les occasions de dépenses à cause du plus grand nombre de pièces à soigner et à entretenir. Les avantages du double attelage, avec deux machines séparées, consistent dans la ressource d'utiliser séparément les deux locomotives, lorsque leur réunion n'est pas nécessaire.

Le déplacement des essieux parallèles dans le sens perpendiculaire à l'axe de la chaudière, comme moyen de faciliter la circulation des locomotives dans les courbes, ayant pour conséquence d'exercer une pression considérable contre le rail et sur le boudin des roues, et d'occasionner leur prompte détérioration, doit être jugé peu favorable au point de vue économique; du reste, les procédés employés pour réaliser ce moyen ne manquent pas, et, comme toujours, le plus simple est le meilleur; c'est-à-dire celui qui consiste à laisser les essieux se mouvoir librement dans les boîtes à graisse.

Jusqu'à ce que la pratique ait sanctionné un autre moyen de résoudre l'intéressant problème de l'augmentation de la puissance des locomo-

tives, nous croyons qu'on doit en chercher la solution dans l'étude d'une machine articulée, composée de plusieurs groupes d'essieux, convergeant vers le centre des courbes, tous adhérents, et solidarisés par l'accouplement des roues, à l'aide d'un système compensant les variations de longueur des bielles d'accouplement au passage de la machine dans les courbes.

V

Essai théorique.

La théorie de la locomotive, qu'il s'agit d'exposer pour appuyer les appréciations exprimées ci-dessus, repose sur des principes de mécanique communs aux moteurs à vapeur; elle est en harmonie avec l'expérience qui sert à réglementer le travail qu'accomplissent effectivement les machines sur les chemins de fer. Elle peut donc servir efficacement de démonstration aux propositions suivantes :

1° La puissance de la locomotive pouvant circuler sur les chemins de fer, de même inclinaison que les routes carrossables, peut être considérée comme à peu près illimitée. Elle est réglée, quant à l'effort de traction, par le nombre des roues accouplées, et, en ce qui concerne la vitesse, par le diamètre des roues motrices.

2° Sur des chemins d'une inclinaison inférieure à 0.08 par mètre, le poids remorqué est supérieur au poids de la locomotive; sur une inclinaison de 0,08, le poids transporté est égal au poids de la machine; au delà, le poids remorqué diminue par rapport à celui du locomoteur, jusqu'à l'inclinaison de $0^{m}.160$ environ, sur laquelle la machine ne peut remorquer que son propre poids.

3° Les frais de traction d'un poids brut transporté à une certaine distance, avec une machine de même puissance, sont les mêmes, quelle que soit la vitesse de transport, mais cette vitesse influe un peu sur les dépenses relatives au poids net ou taxé.

4° Il est désavantageux de charger directement la machine d'un poids autre que celui qui est nécessaire au bon fonctionnement des organes du moteur.

Avant de commencer la démonstration de ces quatre propositions, il convient de rappeler la distinction qui existe entre la vitesse de la locomotive comme moteur, qui est le même chemin parcouru par le piston des machines à grande, moyenne ou petite vitesse pendant un certain temps, et la vitesse de translation du train, ou le chemin qu'il parcourt durant le même temps.

Ces deux vitesses sont souvent confondues, car elles varient ordinairement ensemble ainsi que les efforts différents que devraient faire les locomotives pour équilibrer la résistance des trains, qui se modifie incessamment par l'influence de la gravité, en passant des paliers sur les rampes ou sur les pentes plus ou moins inclinées.

La gravité augmentant la résistance sur les rampes de la même quantité qu'elle la diminue sur les pentes de même inclinaison, est une force automotrice qui explique pourquoi les dépenses d'exploitation des chemins accidentés ne sont pas extraordinairement différentes de celles des chemins de niveau.

J'ai calculé approximativement l'influence des rampes ou des pentes sur les dépenses d'exploitation, en prenant pour base la valeur des matières premières et de la main-d'œuvre à Paris. J'ai trouvé que le prix de revient de la tonne kilométrique augmentait assez régulièrement d'un millime environ, par chaque 5 millimètres de pentes ou de rampes.

De même que dans les machines fixes on cherche à régulariser la vitesse normale du moteur, au moyen des modérateurs, pour uniformiser le travail de la résistance, de même dans la locomotive nous considérerons le travail de la résistance ou le remorquage d'un train sur une rampe continue comme régulière, afin de conserver au moteur une vitesse et un effort uniformes.

Il est bon de faire remarquer que le poids des organes d'une machine à vapeur est en rapport avec sa vitesse de régime; si donc on veut conserver à la locomotive la légèreté relative de ses pièces en mouvement, il faut lui maintenir une vitesse normale supérieure à celle des machines fixes. La vitesse du piston des locomotives est comprise entre deux et trois mètres par seconde, soit à peu près le double de la même vitesse adoptée pour les machines fixes; nous pensons qu'il y aurait intérêt à ne pas l'abaisser au-dessous de deux mètres.

La vitesse de deux ou trois mètres par seconde, au piston, correspondant en général à cent ou cent cinquante tours par minute, est en outre indispensable pour fournir, dans le même temps, les quatre ou six cents coups d'échappement qui activent la combustion dans le foyer de la chaudière, afin de produire la quantité de vapeur nécessaire à l'alimentation des cylindres. Observons encore que les boutons de manivelles qui reçoivent, par l'intermédiaire de la bielle, la pression de la vapeur sur le piston, sont déjà animés d'une vitesse d'un tiers environ supérieure à celle du piston; puisque, pendant que le bouton de manivelle parcourt la circonférence, le piston ne parcourt que deux fois le diamètre. La vitesse de translation de la machine, qui est aussi celle du train, sera donc, à plus forte raison, toujours plus grande que la vitesse du moteur, parce que la disposition des locomotives ne permet pas de donner au rayon de la manivelle une longueur égale ou supérieure à celle du rayon

des roues motrices qui détermine la vitesse de translation en s'engrenant sur le rail. Il suit de là, que la plus faible vitesse de translation d'un train est forcément limitée. Elle est celle qui s'écarte le moins possible de la vitesse normale du moteur, et qu'on obtient en diminuant le plus possible le rapport entre les longueurs des rayons de la manivelle et de la roue motrice : soit 4m.50 à 5 mètres par seconde ou 15 à 18 kilomètres à l'heure.

Résumant enfin les forces qui agissent dans la locomotive en mouvement, en tenant compte des chemins parcourus, on trouve que la force originelle, ou la pression de la vapeur sur les pistons, dépend du diamètre des cylindres et de la tension de la vapeur; que l'effort exercé sur les boutons de manivelles n'est que les deux tiers environ de la pression sur les pistons; que la force de traction transmise au centre des roues motrices, indépendantes ou accouplées, est à l'effort exercé sur les boutons de manivelles comme le rayon de la manivelle est au rayon de la roue; qu'enfin l'adhérence a pour mesure le sixième du poids dont les rails sont chargés au point de contact des roues motrices, quels que soient leurs diamètres.

Dans le but d'éclairer le raisonnement et de simplifier les calculs, nous adopterons des nombres entiers que nous arrondirons de manière à les rendre autant que possible exactement divisibles.

1re PROPOSITION. — Considérons une locomotive ordinaire à tender séparé, pesant 33 tonnes en état de service, et reposant sur trois essieux A, B, C (pl. 7, fig. 1), chargés également par conséquent du poids de 11,000 kilogrammes chacun. Supposons que les roues calées sur chacun de ces essieux aient le même rayon de 0m.50 de longueur, et que le rayon de la manivelle de l'essieu moteur placé au milieu soit de 25 centimètres, ou la moitié de la longueur de celui qui est adopté pour les roues.

D'après les définitions que nous avons données précédemment de l'adhérence et de l'effort de traction, et d'après les déductions que nous avons tirées de leurs valeurs, on trouve que la résistance de l'adhérence au point de contact de la circonférence des roues *a*, *b*, *c* de chaque essieu avec la ligne qui figure les rails, sera le sixième du poids de 11,000 kil.; soit en nombre rond 1,800 kilog. On s'explique que, pour qu'il y ait équilibre entre la résistance de l'adhérence comme point d'appui et l'effort tangentiel horizontal qui tend à faire patiner les roues, il faut que la force transmise à la circonférence des roues de chaque essieu soit également de 1,800 kilog.

Partant ensuite de ce fait que les chaudières les mieux établies des locomotives, du poids de 33 tonnes, fournissent difficilement la vapeur nécessaire pour maintenir continuellement l'effort susceptible d'utiliser l'adhérence au sixième du poids total de la machine, avec la vitesse minima qui convient au moteur, on déduit comme conséquence que le plus

grand effort de traction à obtenir de la locomotive consistera à calculer l'effort exercé sur les boutons des manivelles motrices en rapport avec l'adhérence au sixième du poids total, puisque la pression maxima qui en résultera sur les pistons correspondra à la plus petite vitesse motrice. Et comme dans la locomotive que nous avons prise comme exemple, le rapport de 1 à 2 établi entre les rayons des manivelles et ceux des roues motrices est difficilement réductible dans la pratique, la vitesse de translation pourra être considérée comme aussi faible que possible.

L'adhérence afférente à chacune des trois paires de roues étant de 1,800 kilog., l'adhérence totale sera donc de 5,400 kilog. Par suite, l'effort exercé sur les boutons des manivelles motrices sera le double ou dans le rapport des rayons de la roue avec celui des manivelles, soit 10,800 kilog.; et cet effort multiplié par le rapport de la circonférence décrite par les boutons de manivelles à deux fois son diamètre, soit 1.50 en nombre rond, donnera 16,200 kilog. de pression sur les pistons. La pression maxima de 16,200 kilog. due à la vapeur que la chaudière peut fournir continuellement, et correspondant à la vitesse normale du moteur, pourra être transmise à volonté à la circonférence des trois paires de roues ou n'intéresser que deux essieux, et même qu'un seul si on veut. De là, trois combinaisons de machines ayant une puissance identique, puisque la pression sur les pistons et la vitesse motrice sont les mêmes; mais différentes sous le rapport de la force de traction et de la vitesse de translation.

La première combinaison, réalisant le plus grand effort de traction avec la plus petite vitesse de translation, consistera à utiliser la totalité de l'adhérence par la solidarisation du mouvement de l'essieu moteur avec les deux autres, au moyen de l'accouplement des trois paires de roues du même diamètre d'un mètre, pouvant être difficilement réduit dans la pratique. L'accouplement remplit ici l'office de roues d'engrenage de même diamètre, qui seraient placées sur les essieux pour se transmettre exactement le même mouvement.

La deuxième combinaison, réalisant un effort de traction plus faible, mais avec une vitesse de translation plus considérable, donne lieu à l'utilisation des deux tiers de l'adhérence totale par la solidarisation du mouvement de l'essieu moteur, avec l'un des deux autres, au moyen de l'accouplement de deux paires de roues de même diamètre en rapport avec les efforts tangentiels.

En désignant par D' le diamètre des roues accouplées, l'effort sur les boutons de manivelles qui décrivent une circonférence d'un diamètre de 0.50, étant 10,800 kilos et la force de traction devant être égale à l'adhérence des deux essieux accouplés ou à 3,600 kilos, on aura la proportion suivante :

$$10{,}800 : 3{,}600 :: D' : 0.50, \text{ d'où } D' = \frac{10{,}800}{3{,}600} \times 0.50 = 1.50.$$

La troisième et dernière combinaison, réalisant le plus faible effort de traction avec la plus grande vitesse de translation, n'utilise que le tiers de l'adhérence par la transmission directe du mouvement de l'essieu moteur à la circonférence extérieure des deux roues motrices, dont le plus grand diamètre est calculé d'après la force transmise à l'extrémité du rayon en prolongement de celui des manivelles motrices.

En désignant par D le diamètre des roues motrices, l'effort sur le bouton de manivelles étant de 10,800 kilog., et la force de traction devant égaler l'adhérence de l'essieu moteur qui est de 1,800 kilos, on aura la proportion suivante :

$$10{,}800 : 1{,}800 :: D : 0.50, \text{ d'où } D = \frac{10{,}800}{1{,}800} \times 0.50 = 3^{m}.$$

La plus grande puissance qu'une machine supportée par trois essieux peut développer est ainsi obtenue dans le type que nous venons d'examiner; les trois combinaisons que nous avons présentées permettent de varier la force de traction appliquée au train, et la vitesse de translation, en conservant au moteur un effort et une vitesse de régime invariables. Si on a besoin d'une plus grande puissance, il faut pouvoir augmenter la pression sur les pistons, puisque la vitesse motrice a été considérée comme la plus faible qui convient au moteur. Mais l'augmentation de la presssion sur les pistons ne s'obtient qu'en augmentant le diamètre et par suite le volume des cylindres. Des cylindres plus volumineux consomment une plus grande quantité de vapeur, qui doit être produite par une chaudière plus développée. Le développement de la chaudière et des autres organes de la machine nécessitent, en fin de compte, un poids de locomotive supérieur à celui qu'on peut faire supporter par trois essieux. On est donc conduit logiquement à un nouveau type de machine par l'adjonction d'un quatrième essieu.

Avec ce deuxième type de locomotive à quatre essieux (fig. 2), on obtiendra le plus grand effort de traction, correspondant à la plus petite vitesse de translation, en accouplant les quatre paires de roues du plus petit diamètre. La plus faible force de traction, correspondant à la plus grande vitesse de translation, sera obtenue en transmettant directement la pression des pistons à la circonférence d'une seule paire de roues motrices d'un diamètre en rapport avec les efforts exercés sur les boutons de manivelles et l'effort tangentiel.

Les accouplements de trois ou de deux essieux donneront des résultats intermédiaires, quant aux efforts de traction et des vitesses de translation, en rapport avec les diamètres des roues calées sur les essieux et calculés de la manière ordinaire.

La plus grande puissance d'une machine supportée par quatre essieux, également chargés de 11 tonnes chacun, est ainsi obtenue dans le type que nous venons d'examiner; quatre combinaisons se présentent pour

faire varier en même temps la force de traction et la vitesse de translation, en conservant au moteur un effort normal et une vitesse de régime. Un raisonnement analogue à celui que nous avons fait, pour justifier la nécessité de modifier le type de la machine à trois essieux, par l'adjonction d'un quatrième essieu, pour augmenter la puissance, démontrerait que, pour accroître encore la puissance du nouveau type, il n'y aurait pas d'autre moyen que d'augmenter le poids de la chaudière et des autres organes en le supportant sur un cinquième et sur un sixième essieu. Chaque adjonction d'essieu constituerait de nouveaux types, représentés dans les figures 3 et 4, qui donneraient lieu à autant de combinaisons différentes d'effort de traction et de vitesse de translation qu'il y aurait d'essieux.

Les résultats d'expériences souvent renouvelées, que les faits confirment sans cesse, constatent que l'effort nécessaire pour remorquer un poids de 1000 kilog. sur un chemin de fer de niveau est de 5 kilog. environ, et que cet effort augmente ou diminue régulièrement de 1 kilog. pour chaque millimètre par mètre d'inclinaison, selon que le chemin est en rampe ou en pente. En divisant la force de traction transmise au centre d'une ou de plusieurs paires de roues motrices ou accouplées, par la résistance à la traction d'un poids de 1000 kilog. sur une rampe donnée, on aura le nombre de tonnes brutes que la machine pourra remorquer sur la même rampe avec la vitesse de translation correspondant à la vitesse de régime du moteur.

Le tableau ci-contre donne le résultat des calculs, indiqués précédemment, quant à la puissance de quatre types différents de machines, ainsi que les diverses combinaisons auxquelles chacun d'eux peut donner lieu d'après le nombre d'essieux accouplés, et le diamètre des roues correspondant à la force de traction et à la vitesse de translation.

TABLEAU COMPARATIF *de la puissance de quelques locomotives idéales ayant une vitesse motrice constante, avec la résistance des trains qu'elles pourraient remorquer avec des vitesses de translation différentes.*

PUISSANCE DES LOCOMOTIVES.				RÉSISTANCE DES TRAINS.					
DÉSIGNATION DES TYPES.	PRESSION sur le piston.	VITESSE par seconde.	TRAVAIL de la puissance et de la résistance en chevaux-vapeur.	PAIRE DE ROUES MOTRICES OU ACCOUPLÉES. Nombre.	PAIRE DE ROUES MOTRICES OU ACCOUPLÉES. Diamètre.	FORCE de traction.	VITESSE DE TRANSLATION. Par heure.	VITESSE DE TRANSLATION. Par seconde.	POIDS TOTAL remorqué sur une rampe de 0.005 mill.
	kilog.	m.			m.	kilog.	kilom.	m.	tonnes.
Type n° 1 à 3 essieux, susceptible de trois combinaisons différentes :									
1re combinaison	16.200	2.00	432	3	1.00	5.400	21.600	6.00	540
2e Id.	»	»	»	2	1.50	3.600	32.400	9.00	360
3e Id.	»	»	»	1	3.00	1.800	64.800	18.00	180
Type n° 2 à 4 essieux, donnant lieu à quatre combinaisons :									
1re combinaison	21.600	2.00	576	4	1.00	7.200	21.600	6.00	720
2e Id.	»	»	»	3	1.333	5.400	28.800	8.00	540
3e Id.	»	»	»	2	2.00	3.600	43.200	12.00	360
4e Id.	»	2.00	»	1	4.00	1.800	86.400	24.00	180
Type n° 3 à 5 essieux, permettant cinq combinaisons :									
1re combinaison	27.000	2 00	720	5	1.00	9.000	21.600	6.00	900
2e Id.	»	»	»	4	1.250	7.200	27.000	7.50	720
3e Id.	»	»	»	3	1.666	5.400	36.000	10.00	540
4e Id.	»	»	»	2	2.50	3.600	54.000	15.00	360
5e Id.	»	»	»	1	5.00	1.800	108.000	30.00	180
Type n° 4 à 6 essieux, pouvant réaliser six combinaisons :									
1re combinaison	32.400	2.00	864	6	1.00	10.800	21.600	6.00	1080
2e Id.	»	»	»	5	1.20	9.000	25.920	7.20	900
3e Id.	»	»	»	4	1.50	7.200	32.400	9.00	720
4e Id.	»	»	»	3	2.00	5.400	43.200	12.00	540
5e Id.	»	»	»	2	3.00	3.600	64.800	18.00	360
6e Id.	»	»	»	1	6.00	1.800	129.600	36.00	180

Une remarque peut être faite utilement, dès à présent, au sujet du poids de 540 tonnes, indiqué sur le tableau comme pouvant être remorqué sur la rampe de 0m.005, à la vitesse de 21 kilomètres à l'heure, par la machine de la première combinaison du type n° 1. Si on défalque du poids de 540 tonnes celui de la machine et de son tender, évalué à 50 tonnes, il reste 490 tonnes, qui est précisément la charge que cette machine doit remorquer à la même vitesse sur la même pente, d'après les instructions réglant le service qu'elle accomplit effectivement sur les chemins où elle est employée.

Si ensuite on divise le nombre de 432 chevaux, représentant la puissance de la même machine, par la fraction du mètre carré 0mc.33, qu'on admet généralement comme équivalant au cheval-vapeur dans les chaudières de locomotives, on trouve 144 mètres carrés, représentant exactement la surface de chauffe totale de la machine à trois roues la plus puissante qui ait fonctionné jusqu'à ce jour.

L'accroissement de la puissance des locomotives pouvant être obtenu par l'augmentation de leur poids, qu'on doit supporter sur un nombre *indéterminé d'essieux*, on peut conclure que la puissance est à peu près illimitée. L'examen du tableau, faisant voir que la plus grande force de traction correspond au plus grand nombre d'essieux accouplés et que la vitesse de translation augmente avec le diamètre des roues, on peut conclure, en outre, que la puissance est réglée, quant à la force de traction, par le nombre d'essieux accouplés, et, en ce qui concerne la vitesse de translation, par le diamètre des roues motrices.

2e PROPOSITION. — La plus grande force de traction qui doit équilibrer la résistance de l'adhérence, évaluée au sixième du poids total du locomoteur, correspond à un effort de 165 kilos par tonne de locomotive. Une partie de cette force est utilisée à déplacer le train avec la plus petite vitesse, et l'autre partie est employée à déplacer le locomoteur, comme véhicule, avec la même vitesse. Si la partie de la force de traction employée à déplacer chaque tonne du locomoteur sur une rampe donnée est inférieure à la moitié de la force totale de 165 kilos, l'autre partie pourra déplacer sur la même rampe plus de tonnes de train; et si la partie employée à déplacer chaque tonne du moteur est égale à la moitié de la force de 165 kilos, l'autre partie déplacera le même nombre de tonnes de train. Mais si la partie de la force de traction employée à déplacer chaque tonne du locomoteur est supérieure à la moitié de 165 kilos, l'autre partie ne pourra déplacer qu'un moindre nombre de tonnes de train.

Or la résistance au déplacement d'une charge, dépendant de l'inclinaison du chemin, qui nécessite un supplément de force de 1 kilog. par millimètre pour remorquer chaque poids de 1000 kilos, on s'explique que, sur une inclinaison inférieure à 0m.08 par mètre, soit 0m.05, par exem-

ple, chaque tonne de la locomotive, exigeant un effort de traction de 55 kilos pour être remorquée, il restera 110 kilos ou le double de force de traction pour remorquer deux tonnes de train. Sur une rampe de 0.08, chaque tonne de locomotive présentant un effort de traction de 165 kilos, et en employant la moitié pour se déplacer, l'autre moitié ne pourra remorquer qu'un poids égal[1]. Sur une rampe supérieure à 0.08 par mètre, soit 0.11, par exemple, chaque tonne de locomotive absorbant 115 kilos pour se mouvoir, la partie de la force disponible ne pourra remorquer que 500 kilog. environ. Enfin, sur une rampe de 0m.160, chaque tonne de locomotive absorbant la force totale de 165 kilos pour se déplacer, il ne reste plus de force pour remorquer le plus petit poids de train.

3e PROPOSITION. — L'effet utile mécanique de la locomotive doit s'exprimer en chevaux-vapeur ou kilogrammètres, comme son effet utile industriel pourrait s'exprimer en tonnes kilométriques. La tonne kilométrique, ou l'unité de trafic brut, prise pour unité de mesure du travail industriel de la locomotive, n'est qu'un multiple du kilogrammètre adopté comme unité de mesure du travail mécanique des machines à vapeur.

Des machines d'une puissance égale et disposées pour effectuer des transports à grande ou à petite vitesse, produisant le même nombre d'unités de trafic brut, dans le même temps, ne doivent pas nécessiter plus de frais de traction. Ainsi la locomotive de la force de 432 chevaux du type n° 1 de notre tableau dépense en main-d'œuvre et en matières, pendant une heure, la même somme, quelle que soit sa disposition pour remorquer un train à grande ou à petite vitesse. Elle produit toujours 11,664 tonnes kilométriques, ou le même nombre d'unités de trafic brut par heure, quelles que soient les dispositions adoptées pour faire varier *la vitesse de translation*.

Le nombre de 11,664 est le produit de la multiplication de la vitesse de translation par le nombre correspondant de tonnes brutes remorquées.

Mais comme les unités de trafic net dans le train de 540 tonnes à petite vitesse et dans celui de 180 tonnes à grande vitesse, c'est-à-dire celles qui sont soumises à la taxe, se trouvent en rapport différent avec les unités de trafic brut du même train, on peut dire que si les frais de traction d'un poids brut transporté sont indépendants de la vitesse de marche, il n'en est pas de même des frais de transports des marchandises soumises à la taxe, qui sont dépendants de la vitesse, à cause du même poids de machine qui entre dans la composition de trains de tonnages bruts différents.

1. La pratique est venue, récemment, justifier cette théorie. MM. Molinos et Pronnier, Membres de la Société, ont constaté que, sur les chemins de Tavaux-Ponséricourt, une locomotive du poids de 7,500 kilos a toujours remorqué, sur une rampe de 0,0767 et par tous les temps de brouillard, de neige ou de verglas, au moins un wagon pesant 8,100 kilos.

En faisant le prix de revient des tonnes kilométriques nettes transportées avec la machine à petite vitesse ou avec celle à grande vitesse du type n° 1 du tableau, on trouve que la tonne kilométrique à grande vitesse coûte seulement 20°/₀ ou $\frac{1}{5}$ plus cher que celle à petite vitesse.

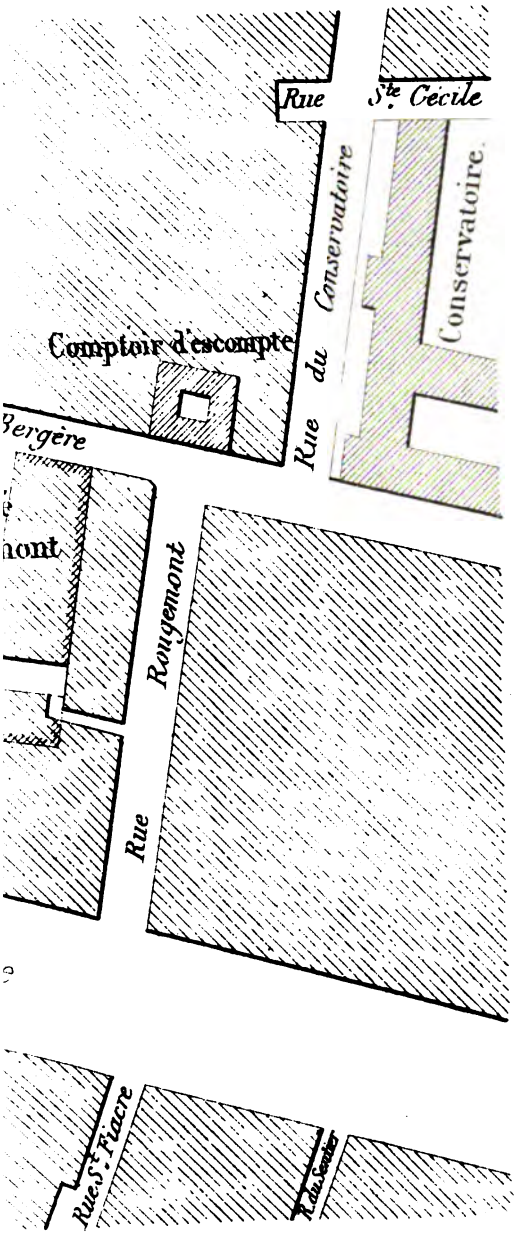
4e PROPOSITION. — La comparaison des différents types de locomotives du tableau fait voir qu'à chaque adjonction d'essieu, chargé d'un poids maximum de 11 tonnes, correspond un supplément de force de traction de 1,800 kilos, permettant de remorquer, sur rampe de 0m.005, 180 tonnes de plus, à la vitesse minima de 21km.600 à l'heure; ou de traîner la charge minima de 180 tonnes avec un supplément de vitesse de 21kil.600 à l'heure. En passant du type n° 1 au type n° 2, par exemple, supposons que le quatrième essieu ait été placé en vue de supporter la charge d'eau et de combustible nécessaire à l'alimentation de la locomotive, au lieu d'avoir été adjoint pour supporter l'excédant de poids dû au développement de la surface de chauffe et des autres organes moteurs : la résistance de l'adhérence aurait été évidemment accrue inutilement du sixième du poids supporté par l'essieu, faute de pouvoir être utilisée par la force de traction qui est restée la même; car l'effort sur les boutons de manivelles, qui détermine la force de traction, n'a pas pu varier, puisque les moyens de production et d'utilisation de la vapeur n'ont pas été augmentés.

En plaçant les approvisionnements des matières de consommation directement sur la machine, au lieu de les avoir remorqués sur un tender séparé, on s'est privé de 1,800 kilos de force de traction, susceptible de remorquer 180 tonnes brutes à la même vitesse, pour économiser 180 kil. de résistance au train dans la composition duquel le tender serait entré pour 18 tonnes seulement. Différence : 162 tonnes à remorquer en moins.

Notre étude se trouve ainsi terminée par la démonstration de la quatrième et dernière proposition, qui était définie comme suit : Il est désavantageux de charger directement la locomotive *d'un poids autre* que celui qui est nécessaire au bon fonctionnement de ses organes moteurs.

Paris. — Imprimerie VIÉVILLE et CAPIOMONT, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Rue
Ste. Cécile
Rue du Conservatoire
Conservatoire
Comptoir d'escompte
Bergère
Rougemont
Rue
Rue St. Fiacre



Rue de Dunkerque. 43 à Paris.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1869)

N° 6

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Industries agricoles* (Analyse par M. Brüll de l'ouvrage de M. Ronna, sur les) (séance du 2 avril, page 217).

2° *Voitures à deux étages*, par MM. Love, Robert et Vidard (séances des 2 et 16 avril, 7 mai et 4 juin, pages 219, 224, 229 et 250).

3° *Bétons agglomérés*, par M. François Coignet (séance du 2 avril, page 221).

4° *Expédition au pôle Nord*, par M. Gustave Lambert (séance du 16 avril, page 225).

5° *Marche à contre-vapeur*, par M. E. Flachat (séance du 7 mai, page 232).

6° *Acier fondu* (Conversion rapide des masses de fonte en), par M. Galy-Cazalat (séances des 7 et 21 mai et 4 juin, pages 236, 244 et 253).

7° *Associations ouvrières en Angleterre, dites Trades-Unions*. Analyse de l'ouvrage de M. le Comte de Paris, par M. Banderali (séance du 21 mai, page 242).

8° *Poutres à double* T *d'après leurs moments de résistance* (Poi[illegible] du nètre courant des), par M. Leygue (séance du 4 juin, page [illegible]

9° *Situation financière de la Société* (Exposé par le Trésorier de la Société), (séance du 18 juin, page 260).

10° *Médaille en or décernée* à M. Lavalley, pour son Mémoire sur l'état d'avancement des travaux du Canal maritime de l'isthme de Suez (séance du 18 juin, page 261).

11° *Chemin de fer du Pacifique*, par M. Simonin (séance du 18 juin, page 261).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Kohn, un exemplaire de son ouvrage sur la *Fabrication de l'acier*.

2° De M. Vojacek, membre de la Société, un exemplaire de trois Mémoires intitulés :

Emploi du planimètre pour la recherche des quantités nécessaires aux calculs de résistance;

Exhaussement des rails dans les courbes;

Détermination graphique des moments de flexion des poutres de faible longueur.

3° De M. Vuillemin, membre de la Société, un exemplaire de l'*État général du matériel roulant de la Compagnie du chemin de fer de l'Est.*

4° De M. Love, membre de la Société, un dossier contenant *Divers documents et les projets des voitures à deux étages de la Compagnie des chemins de fer des Charentes.*

5° De M. Ronna, ingénieur, un exemplaire de son ouvrage sur les *Industries agricoles.*

6° De M. Sandberg, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire sur la *Résistance des rails en fer à différentes températures.*

7° De M. Loisel, membre de la Société, deux exemplaires de son *Annuaire spécial des chemins de fer belges, années* 1866 *et* 1867.

8° Les numéros 39, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 49 et 50 de 1868, et les numéros 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 de 1869 du *Journal agricole de Vienne*, publié par la Société d'agriculture de Vienne.

9° Une brochure intitulée : l'*Autriche et la convention additionnelle anglaise*, mémoire présenté à la Société de commerce de la Basse-Autriche à Vienne.

10° *Les Statuts de la Société économique de Vienne.*

11° Le numéro 3 de 1869 de l'*Économiste autrichien*, organe de la Société économique de Vienne.

12° L'*Almanach de l'établissement central de Vienne pour la météorologie et le magnétisme terrestre.*

13° Les numéros 46, 47, 49, 55, 56, 57, 64, 68, 70, 71 et 72 des Bulletins de la *Société pour le progrès économique*, à Vienne.

14° Douze brochures sur divers sujets économiques, extraites des travaux de la *Société pour le progrès économique*, à Vienne.

15° De M. Ronna, ingénieur, un exemplaire d'une note sur les *Irrigations et les engrais à Granjac* (Gard), et un exemplaire de sa notice sur la *Visite faite à l'usine de M. Heward, à Bedfort.*

16° De M. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de son mémoire sur la *Marche à contre-vapeur des machines locomotives.*

17° De M. Ordinaire de Lacolonge, un exemplaire de sa notice sur les *Recherches théoriques et expérimentales sur le ventilateur à force centrifuge.*

18° De M. Ribail, membre de la Société, une notice indiquant les *Dates de construction des divers modèles de voitures à impériales qui ont été ou qui sont encore employées par les compagnies fusionnées sous le nom de* Compagnie de l'Ouest.

19° De M. Richard, membre de la Société, un exemplaire de son *Projet de Canal maritime de Paris à la mer.*

20° Un exemplaire du *Compte rendu des opérations du service de la traction et du matériel pendant l'exercice* 1868 *du chemin de fer Grand-Central belge.*

21° De M. Jules Morandière, membre de la Société, un exemplaire d'une *Note sur le chemin de fer à voie de* 0m.80 *dit du Broelthal, près Cologne.*

22° De M. Fellot, membre de la Société, un compte rendu analytique

du mémoire de M. Le Chatelier sur la *Marche à contre-vapeur des machines locomotives.*

23° De M. Fellot, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur le *Tube d'inversion ou la machine locomotive transformée en générateur de chaleur pour produire l'arrêt des trains*, par M. Ricour, ingénieur des ponts et chaussées.

24° De M. Nordling, membre de la Société, trois *Photographies du viaduc de la Bouble, chemin de fer de Commentry à Ganat.*

25° De M. Mallet, membre de la Société, un exemplaire d'un *Rapport de la Compagnie Génevoise des colonies de Sétif contenant des documents très-intéressants sur l'exploitation de transports par locomotives routières.*

26° De M. le Comte de Paris, un exemplaire de son ouvrage sur les *Associations ouvrières en Angleterre*, Trades-Unions.

27° De M. Lacroze, membre de la Société, un exemplaire de son étude *Sobre Aguas-Corrientes, cloacas y adoquinado para la Ciudad de Buenos-Aires.*

28° De M. Gottschalk, membre de la Société, une note sur le *Service de traction des chemins de fer du Sud de l'Autriche, et en particulier sur l'exploitation du Semmering et du Brenner en* 1868.

29° De M. Leygue, membre de le Société, un mémoire sur le *Poids du mètre courant des poutres à double* T *d'après leurs moments de résistance.*

30° De M. Sandberg, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *On the Manufacture and wear of rails.*

31° De M. J. Cockburn Muir, un exemplaire de sa brochure intitulée: *Ligth Railways.*

32° De M. Nordling, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur les *Ponts biais et les ponts courbes.*

33° De M. E. Gaget, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur le *Canal maritime d'Amsterdam à la mer du Nord.*

34° De M. Mouchot, professeur au lycée de Tours, un exemplaire de son ouvrage sur la *Chaleur solaire et ses applications industrielles.*

35° De M. E. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de son *Cours de mécanique appliquée aux constructions.*

36° *Annales industrielles*, les numéros de mars, avril, mai et juin.

37° De la Société des ingénieurs civils d'Écosse, leur bulletin du deuxième trimestre de 1869.

38° De l'institution *of Mechanical Engineers*, les numéros du deuxième semestre 1868 de son bulletin.

39° *De la Société industrielle de Reims*, les numéros de janvier et février 1869 de son bulletin.

40° De la *Revue horticole*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

41° De la *Gazette du Village*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

42° De la *Société des ingénieurs autrichiens*, leur *Revue périodique;* les numéros du premier trimestre 1869.

43° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, le numéro 3 de 1869.

44° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne,* le numéro du troisième trimestre 1868 de son bulletin.

45° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

46° De la *Revue d'architecture*, les numéros 1, 2, 3 et 4 de l'année 1869.

47° De la Revue *les Mondes*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

48° Du journal *The Engineer*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

49° De la *Société d'encouragement*, les numéros du deuxième trimestre 1869 de son bulletin.

50° De la *Société de géographie*, les numéros du deuxième trimestre 1869 de son bulletin.

51° De la *Société impériale et centrale d'agriculture*, le numéro de décembre 1868, et janvier et février 1869 de son bulletin.

52° Du journal *l'Invention*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

53° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

54° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

55° De la *Revue contemporaine*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

56° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

57° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

58° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

59° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

60° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

61° Du journal *le Cosmos*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

62° Du *Génie industriel*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

63° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

64° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du premier trimestre 1869.

65° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

66° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

67° Du *Propagateur des travaux en fer*, le numéro du deuxième trimestre 1869.

68° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

69° De la *Propagation industrielle*, les numéros de février et mars 1869.

70° Du journal *Engineering*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

71° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros d'avril et mai 1869.

72° Du *Comité des forges de France*, les numéros 48, 49 et 50 du bulletin.

73° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de février, mars, avril et mai 1869 de son bulletin.

74° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du deuxième trimestre de 1869 de son bulletin.

75° Des *Annales des mines*, les numéros de la sixième livraison de 1868, et la première de 1869.

76° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1868.

77° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, les numéros du deuxième trimestre 1869.

78° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

79° *Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du deuxième trimestre 1868 de son bulletin.

80° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, numéros de novembre et décembre 1868.

81° De la *Société des anciens Élèves des Écoles impériales d'arts et métiers*. Les numéros de son bulletin du deuxième trimestre 1869.

82° De la *Société Vaudoise des Sciences naturelles*, le numéro d'avril 1869 de son bulletin.

Les Membres admis pendant le deuxième trimestre sont :

Au mois d'avril :

MM. **Armengaud fils**, présenté par MM. Alcan, J. Mathieu et Thirion.
Barbaroux, présenté par MM. Alcan, Belanger et Vinay.
Carenou, présenté par MM. Callon, Contamin et Coquerel.
Dupont, présenté par MM. Alcan, E. Muller et Trélat.
Galy-Cazalat, présenté par MM. Alcan, Loustau et H. Tresca.
Gast, présenté par MM. Alcan, Simon et Thomas.
Monnier, présenté par MM. Alcan, Ckiandi et Petiet.
Pierrard, présenté par MM. Alcan, Armengaud et Thirion.
Vergnes, présenté par MM. Bobin, Love et Richard.

Comme Membre-Associé :

M. JOUBERT, présenté par MM. Alcan, Callon et Petiet.

Au mois de mai :

MM. BÉTHOUART, présenté par MM. Alcan, Petiet et A. Tresca.
BOUQUET, présenté par MM. Alcan, Ckiandi et Petiet.
BRAULT, présenté par MM. Alcan, E. Flachat et Petiet.
FAYOL, présenté par MM. E. Flachat, Ivan Flachat et Mony.
IMBER, présenté par MM. Alcan, de Branville et Guettier.
JEANSON, présenté par MM. Debauge, A. Le Cler et Schivre.
THEURKAUFF, présenté par MM. Marcais, J. Morandière et Thomas.

Comme Membre Associé :

M. GARNIER, présenté par MM. Flachat, Jousselin et Love.

Comme Membres Honoraires :

MM. DUMAS, présenté par MM. Alcan, Callon, Flachat, Love, Petiet et Tresca.
LAVALLÉE, présenté par MM. Alcan, Callon, Flachat, Love, Petiet et Tresca.

Au mois de juin :

MM. BRUNT, présenté par MM. Alquié, Arson et Servier.
CHALAIN, présenté par MM. Carcuac, Jordan et Péligot.
CORPET, présenté par MM. Alcan, Bourdon et Vée.
GLASER, présenté par MM. Ball, Fiévet et J. Morandière.
GOUPILLON, présenté par MM. Hervey-Picard, Mauguin et Smith.
JUNCKER, présenté par MM. Arson, Banderali et Gigot.
RUEFF, présenté par MM. Alcan, Callon et Petiet.

Comme Membre Associé :

M. GENESTE, présenté par MM. Alcan, Armengaud et Decaux.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1869

Séance du 2 Avril 1869.

Présidence de M. MICHEL ALCAN.

Le procès-verbal de la séance du 19 mars est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Vallier a été nommé chevalier de la Légion d'honneur.

La parole est à M. Brüll, qui s'est chargé de remettre à la Société un livre intitulé *les Industries agricoles*, de la part de l'auteur, M. Ronna.

M. Ronna, ingénieur civil, fait hommage à la Société de son ouvrage intitulé : *les Industries agricoles*. M. BRÜLL, en présentant ce volume, rappelle que M. Ronna est déjà connu de la Société par la communication qu'il lui a faite d'importants travaux publiés par lui dans ces dernières années. On peut citer, par exemple, un mémoire sur les *phosphates de chaux* et leur emploi en agriculture; une étude sur l'*utilisation des eaux d'égouts* en Angleterre, et la traduction, faite en collaboration avec notre collègue M. Petitgand, du *Traité de métallurgie* du Docteur Percy.

M. Ronna a passé en revue dans son nouvel ouvrage : la sucrerie, la distillerie, la brasserie, les vins, les vinaigres, la conservation des grains, la meunerie et la boulangerie, l'amidonnerie, la féculerie, la conservation des aliments, l'huilerie et les résines, la tannerie, l'albumine, le blanchiment, la papeterie et la conservation des bois.

Les documents qui servent de bases à ces études ont été pour la plupart recueillis aux expositions de 1862 et de 1867. On a complété ces éléments par des renseignements recueillis tant auprès des industriels que dans les publications spéciales,

et on a pu ainsi constituer pour chaque industrie, non pas un traité ou un manuel complet, mais un tableau de la situation actuelle et des progrès réalisés pendant ces dix dernières années.

M. Brüll passe rapidement en revue les diverses parties de l'ouvrage. Les chapitres consacrés à la sucrerie et à la distillerie sont les plus importants. Ces industries présentent en effet le plus grand intérêt, tant au point de vue des progrès très-rapides qu'elles ont réalisés dans leurs procédés de fabrication, qu'au point de vue de l'influence bienfaisante qu'exercera leur développement sur la prospérité de l'agriculture et aussi sur le bien-être général. La sucrerie n'a encore pénétré que timidement dans les fermes, et cette industrie s'exerce surtout dans de grandes fabriques spéciales, mais les procédés Champonnois et Renler ont au contraire permis d'installer avantageusement la distillerie dans beaucoup d'exploitations agricoles.

La brasserie est une industrie en plein développement. Les progrès sont venus surtout d'Allemagne, et on lira avec intérêt la description des usines colossales de M. Dreher et aussi celle des établissements assez importants de M. Boucherat, à Puteaux, et de M. Velten, à Marseille.

On trouvera à l'article Vins la description d'un grand nombre de pressoirs, parmi lesquels le plus nouveau et l'un des plus intéressants est la presse à genou de M. Samain. Un chapitre est consacré à la question du chauffage des vins : le procédé recommandé par M. Pasteur, mais déjà découvert depuis longtemps par plusieurs inventeurs, reçoit aujourd'hui des applications industrielles.

Dans le chapitre relatif à la conservation des grains, question que la Société a étudiée dans ces derniers temps, on trouve, après la description d'un grand nombre de greniers les plus variés, celle de plusieurs systèmes de silos, parmi lesquels on peut citer ceux de M. Doyère, de M. Coignet et aussi le silo à vide du Dr Louvel.

La meunerie et la boulangerie ont aussi fait des progrès. On remarque l'emploi, devenu général, des aspirateurs pour éviter l'échauffement pendant la mouture; les ingénieux appareils de nettoyage et de préparation, les systèmes de pétrins mécaniques et de fours perfectionnés.

On conserve les aliments par un grand nombre de procédés reposant sur l'emploi du sel, du sucre, de la créosote, du froid, de la chaleur et du vide. Un article est consacré à l'extrait de viande, d'après le procédé du Dr Liebig, et à l'importante question du transport des viandes d'Australie et de l'Uruguay.

Dans la fabrication des huiles, on remarque l'application des accumulateurs de pression et l'extraction par le sulfure de carbone.

La tannerie et la corroierie commencent à employer de nouvelles machines-outils remplaçant avantageusement les mains-d'œuvre très-laborieuses de ces industries. Les procédés de tannage rapide ont été proposés en grand nombre, mais l'application en est encore peu développée.

On fait du papier avec les matières les plus diverses : la paille, le sparte, le diss, le phormium, le palmier, le varech, le maïs, les roseaux, la racine de luzerne et le bois. La consommation de papier prend un rapide accroissement dans tous les pays civilisés, et ce n'est pas trop de ces sources très-variées d'approvisionnement pour suppléer à l'insuffisance du chiffon. Parmi les fabrications étudiées par M. Ronna, on remarque le procédé de MM. Bachet et Machard, qui retire à la fois du bois de la pâte à papier et de l'alcool.

Le dernier chapitre est consacré à la conservation des bois. C'est un sujet que la

Société a souvent traité. Le procédé le plus nouveau est celui de la carbonisation superficielle : il est employé surtout pour la marine impériale et reçoit aussi des applications dans l'industrie.

En résumé, on trouve dans l'ouvrage, commodément groupés pour l'étude, des renseignements intéressants sur les progrès que l'application de la physique, de la chimie et de la mécanique a permis d'apporter, dans ces dernières années, à la plupart des industries passées en revue. Les descriptions sont claires et rapides, les appréciations sont nettes et impartiales, et la lecture de ce travail intéressera certainement, tout autant que les agriculteurs, les ingénieurs et les industriels qui ont à s'occuper, soit d'une façon normale, soit accidentellement, de l'une de ces *industries agricoles*.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Brüll qui a bien voulu se charger de faire le résumé succinct de ce livre, mais il lui semble que l'auteur a oublié, et la fabrication du cidre, importante pour toute une contrée, et la description d'expériences récentes faites avec un nouvel appareil (dit *hydro-extracteur*), destiné à extraire le jus des fruits. M. le Président a assisté, l'automne dernier, avec M. Balart, de l'Institut, à des expériences dont les résultats les ont frappés, et il croit devoir en entretenir quelques instants la Société. Le raisin égrené tombe dans une trémie au bas de laquelle se trouvent deux cylindres qui l'écrasent; de là, il se rend immédiatement à l'hydro-extracteur, sorte de pompe, qui sépare le jus des autres parties.

Le jus sort parfaitement propre. Des expériences faites sur deux quantités égales de raisin traitées l'une à la façon ordinaire, l'autre à l'hydro-extracteur, ont donné l'avantage à celui-ci, et surtout sous le rapport de la qualité : des dégustateurs ont constaté ce dernier point. Lorsqu'on foule le vin à la manière ordinaire, ce qui sort tout d'abord (la *première goutte*), est la plus agréable au goût, tandis que la dernière partie obtenue avec une forte pression (la *dernière goutte*) est beaucoup moins agréable. Au contraire, le goût est parfaitement égal avec l'hydro-extracteur, et la quantité produite est au moins égale à celle du pressoir. L'appareil peut en outre être facilement transporté dans les vignes, de sorte qu'au lieu de ramener la vendange au pressoir, on ramène les fûts pleins à la cave. La dépense n'est pas plus grande que l'usage du pressoir, surtout si l'on tient compte des frais d'établissement de ce dernier. Du reste, pour vulgariser l'appareil, on a l'intention de procéder comme avec les machines à battre, et des entrepreneurs spéciaux parcourront les pays en louant des hydro-extracteurs.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Robert pour sa communication sur la voiture à deux étages de la Compagnie des Charentes.

Cette communication devant être insérée *in extenso* dans le Bulletin, on se bornera à résumer ici les points principaux.

M. ROBERT dit que cette communication a pour but de retracer une sorte d'historique des voitures à deux étages et des principales dispositions de détails auxquelles elles ont donné lieu.

En 1854, M. Love étudiait une voiture à deux étages, qui offrait une impériale fermée accessible par des escaliers placés aux extrémités; et en 1857, M. Love adressait un mémoire autographié au Ministre des travaux publics sur les avantages économiques de cette voiture.

M. ROBERT rappelle que, dans un livre attribué à Proudhon, *Réformes dans l'exploitation des chemins de fer*, édité par la librairie Garnier, en 1855, on trouvait aussi

un croquis de voiture à deux étages, recommandée dans les mêmes vues économiques que la précédente.

MM. Molinos et Pronnier mettaient en service, en 1862, sur le chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, les premières voitures construites avec deuxième étage clos. Le châssis avait été surbaissé de manière à rapprocher le plancher du rail et diminuer ainsi la hauteur totale.

A la fin de 1862, M. Love était appelé à la direction de la Compagnie des Charentes, et reprenait les études de voitures à deux étages, en mettant un escalier central et un châssis surbaissé. Un dessin autographié d'une voiture de cette nature, avec escalier couvert central, fut remis, à la fin de 1863, à la Société des Ingénieurs civils.

M. Leprovost brevetait en mars 1863 : 1° l'emploi d'une caisse en tôle pour voitures à deux étages clos ou autres ; 2° divers détails de construction.

Au commencement de 1863, M. Love appelait les quatre maisons : Maze et Voisine, Desouches, Delettrez, Jannin et Bournique, à fournir un projet de voiture à deux étages suivant un programme dont il avait tracé les bases et auquel il annexait trois projets, décrits par M. Robert à la séance, et dont il est fait don à la Société. Ce concours n'a pas eu de résultats.

La maison Jannin et Bournique prenait, en juin 1863, un brevet pour un certain ensemble de dispositions formant la voiture bien connue aujourd'hui sous le nom de voiture à deux étages, système Vidard ; et, plus tard, elle prenait un brevet d'addition pour des détails : châssis abaissé, brancards en fer cintrés, ressorts extérieurs aux longerons, boîte spéciale à rouleaux, escaliers extérieurs non couverts, deuxième étage fermé avec couloir longitudinal. — M. Vidard adressait en 1868 une lettre au Ministre du commerce, de l'agriculture et des travaux publics, détaillant les avantages de ces nouvelles voitures, dont plusieurs ont été mises en service sur divers chemins.

M. Love a pu faire exécuter, en 1869, par MM. Maze et Voisine, une voiture analogue à celle qu'il avait fait étudier en 1862 ; et c'est à cette occasion que la présente communication a été faite.

Dans cette voiture l'escalier central est couvert, et occupe moins de place que deux escaliers placés un à chaque extrémité ; de plus, les portières du deuxième étage sont en bas, au même niveau que les autres. La hauteur voulue des attelages a été obtenue en rapportant des pièces sur le longeron, et non en le cintrant au feu. Les ressorts de choc et traction sont placés sous les banquettes extrêmes, et les chaînes de sûreté sont attelées aux ressorts pour leur éviter le plus de chance de rupture possible. Les ressorts extérieurs aux longerons sont attachés à des mains de suspension mises sur le côté du brancard ; on projette à l'avenir de les rattacher à des traverses-entretoises en fer Zorés, placées à un niveau inférieur aux brancards et dépassant ceux-ci d'une certaine quantité.

M. Robert retrace maintenant l'historique des divers détails que l'on trouve dans les voitures à deux étages.

Les voitures faites autrefois pour le chemin de fer de Strasbourg, à Bâle, et décrites dans l'ouvrage de MM. Bazaine et Chaperon (1840), avaient le plan de l'attelage et des ressorts plus élevés que le dessus des longerons ; d'un autre côté, les ressorts de suspension étaient attachés à des traverses spéciales perpendiculaires à l'axe de la voie, et le ressort était en dehors du plan du petit brancard additionnel. Cette disposition existait aussi dans les voitures des chemins belges.

Les longerons en fer et l'emploi du fer dans la construction des châssis ont fait l'objet d'un brevet de MM. Nepveu et Servel, en 1852.

Vers la même époque, le chemin de Saint-Germain construisait des voitures à impériales qui existent encore, et dans lesquelles les ressorts de choc et traction se trouvaient compris dans la caisse et sous les banquettes extrêmes.

Les tenders du Bourbonnais, construits en 1856 (collection des dessins de M. Bazaine), nous offrent un exemple de ressorts de suspension placés en dehors des plaques de garde et ayant des mains de suspension boulonnées sur le côté du longeron brancard. — Les wagons du Bourbonnais, calqués d'ailleurs sur un type du chemin d'Orléans, montrent la suppression du châssis de la caisse spéciale; le plancher s'appuie directement sur les longerons, et les montants verticaux reposent sur une lisse reliée aux brancards par des consoles en bois ou en métal.

Les wagons-freins spéciaux, construits vers 1840, pour le plan incliné de Liége, portaient les mêmes consoles et se faisaient remarquer par l'absence du châssis de caisse.

Les chemins de Bavière avaient autrefois des tampons situés très-bas, et lorsque, vers 1855, l'administration s'est décidée à ramener le tamponnement à la hauteur généralement adoptée, une disposition transitoire ayant les quatre tampons par traverse fut employée pendant quelque temps. La hauteur de l'axe des brancards (qui étaient en fer) était à mi-distance entre les tampons, et ceux-ci, dont les axes étaient en dehors du plan inférieur ou supérieur des brancards, étaient portés par une large feuille de tôle réunie aux brancards au moyen de cornières.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Coignet pour la description d'une nouvelle application des bétons agglomérés.

M. COIGNET a déjà entretenu à plusieurs reprises la Société de ses travaux; néanmoins, avant d'aborder le sujet de sa communication actuelle, il désire retracer en peu de mots les divers travaux récemment faits.

M. COIGNET a donné la plus grande extension à la méthode de préparation par pilonnage, et il a trouvé que ce procédé avait une efficacité assez grande pour permettre l'emploi de matières de toutes qualités. On peut maintenant faire entrer dans la composition des bétons le sable de carrières, la chaux ordinaire, et en ce moment même des bétons sont faits dans la forêt de Fontainebleau, avec du sable d'une très-grande finesse, presque impalpable.

Des essais faits par M. *Michelot*, ingénieur des ponts et chaussées, ont montré que la résistance à l'écrasement variait depuis 100 kilogrammes jusqu'à 600 kilogrammes, suivant la nature et la qualité des matériaux entrant dans la composition des bétons. La résistance à l'usure par frottement a été, dans certains cas, reconnue comparable à celle du granite.

M. COIGNET rappelle l'arc de 60 mètres d'ouverture, à 1/10e de flèche, qui existe à son usine de Saint-Denis, et il cite aussi divers autres travaux.

Près de Saint-Denis, dans la plaine de la Briche, on a dû construire un égout cotoyant un ancien égout, qui occasionnait des éboulements à chaque instant, et l'on a passé sans encombre sous les voies du chemin de fer du Nord, malgré l'ébranlement produit par le passage de trains nombreux. La Seine est venue à cinq reprises inonder les travaux, sans altérer les maçonneries.

Au palais de l'Exposition, on a fait 400 mètres de grande voûte, avec des arceaux de trois mètres d'ouverture, présentant 14 centimètres d'épaisseur à la clef; 8 à

40 mille mètres de canalisation ont été faits dans le même palais, et dans un temps très-court. Le grand réservoir d'eau de 6,000 mètres cubes était également fait avec parois inclinées à 45°, revêtues de 10 centimètres de béton.

A la construction du mur du cimetière de Passy, on a employé du sable de carrière, et, pour la première fois, on a obtenu, à l'aide du béton, un aspect monumental en faisant des moulures, pilastres, etc. On trouve, rue Miromesnil, n° 98, une maison ornementée faite en béton, et, rue des Poissonniers, une cité ouvrière construite de la même façon. Les escaliers ont été faits en béton par la révolution d'une courbe par étage; et il se trouvent être incombustibles, de sorte qu'une retraite sûre est assurée en cas d'incendie.

M. Coignet voudrait voir également le béton employé pour les toitures; la terrasse si appréciée en Italie aurait également un grand avantage dans les villes, où l'on pourrait y aller respirer, sans sortir de chez soi, un air qui manque aux appartements. Quelques essais ont été faits, et il s'est produit au premier moment des fissures; elles ont pu être bouchées au moyen d'un mélange de goudron de Norvége et de sable.

Un autre emploi tout à fait opposé a été fait pour les fondations. Les communs de l'hôtel de M. André (boulevard Haussmann) présentent de nombreuses voûtes au 1/10e, au 1/12e, formant un ensemble assez hardi.

Le travail le plus important, en ce moment en train, est la construction de l'aqueduc pour la dérivation de la Vanne qui, pour une longueur totale de 60 kilomètres, en présente 40 en pleine forêt de Fontainebleau. On a pu utiliser le sable impalpable pour faire en béton des arcades néanmoins très-minces : quelques infiltrations ont amené la formation de couches de glaces qui n'ont occasionné aucun dommage, et cette espèce de maçonnerie a été déclarée une des moins gélives connues. Les décintrements des voûtes se font tous les dix jours. On a également exécuté 18 kilomètres de souterrain dans ce sable si fin, en construisant un cylindre de deux mètres de diamètre, présentant une maçonnerie de 0m.20 d'épaisseur. Les décintrements se faisaient tous les trois jours.

Une des plus grandes appréhensions de cette entreprise était relative à l'étanchéité. Pour l'obtenir, on étendait sur la surface nette, mais non lisse, du béton une couche mince d'une pâte ou sorte de ciment à prise lente, sur laquelle on appuie avec une truelle souple. On a obtenu ainsi une étanchéité vingt fois plus grande que celle demandée par le cahier des charges.

M. Coignet termine ici cet aperçu de la construction monolithique pour passer à la construction des pierres artificielles. En principe, la compression d'un bloc sur ses quatre faces ne suffit pas pour faire une pierre, car le milieu n'est pas solidifié; de récents accidents arrivés en Amérique en sont la preuve : il faut comprimer par couches successives.

En appliquant ce principe, M. Coignet a obtenu des pavés, des dalles, des briques, etc., et, grâce à une machine automatique, ces briques se feront à bas prix. Le maximum de dureté s'obtient avec un mélange comprenant de 4 à 5 parties de sable, 1 partie de chaux en poudre et une demie partie de ciment.

D'un autre côté, on a fait des statues et objets d'ornementation de toutes sortes; les ouvriers acquièrent vite une sorte de talent pour enlever les bavures encore fraîches. M. Coignet appelle l'attention sur les détails et la couleur d'un buste exposé sous les yeux des personnes présentes à la séance.

Enfin, M. Coignet aborde le sujet principal qui a motivé sa communication. C'est une nouvelle application des bétons agglomérés, notamment aux pièces blindées en fer pour bordures de trottoirs et longrines pour chemins de fer, application pour laquelle il demande l'avis des personnes compétentes.

Les bordures de trottoirs sont attaquables par les roues des voitures; pour éviter cela, on peut employer une sorte de blindage en fonte ou en fer munie d'appendices qui se noyent dans le béton et font un tout parfaitement solide. Cet essai a conduit un jeune ingénieur, s'occupant des projets d'un chemin de fer américain, à demander à M. Coignet s'il ne pourrait pas par le même moyen obtenir l'encastrement des rails. Au premier moment, M. Coignet a cru la chose impossible, mais il a travaillé la question et est arrivé à produire plusieurs spécimens qu'il soumet à la critique des hommes compétents.

Le rail ayant l'une des formes employées pour les chemins américains recouvre toute la surface supérieure d'une longrine en béton à laquelle il est rattaché par un certain nombre de clous. A un premier modèle qui lui a été soumis, M. Flachat a objecté la présence du macadam trop près du rail; et dans les spécimens suivants, M. *Coignet* a ménagé un redan de chaque côté, sur lequel on pourrait mettre une ligne de pavés parallèlement au rail, comme sur les chemins américains existants. Enfin, M. Coignet demande, en terminant, qu'on veuille bien lui adresser des objections et des critiques sur ce nouveau mode d'emploi du béton comprimé.

M. le Président remercie M. Coignet de cette communication, et désire poser plusieurs questions comme éclaircissements. Quelle est la densité du béton? A-t-on essayé de s'en servir comme pavages?

M. Coignet répond que la densité est de 2,300 à 2,400 kilogrammes par mètre cubes. Des essais de pavages et d'emplois de toutes sortes ont été faits. Toutefois, il a été reconnu impossible jusqu'à ce jour d'obtenir des tubes creux.

M. le Président demande si M. Coignet peut indiquer à la Société la composition des divers bétons, et quels sont les éléments dont l'introduction donne les diverses qualités que l'on désire obtenir.

M. Coignet donne la composition suivante : pour les murs, 4 ou 5 parties de sable, 1 partie de chaux; on peut monter 1 mètre de hauteur de maçonnerie par jour; — au phare de Port-Saïd, de 55 mètres d'élévation, à terminer dans un délai de cinq mois, on se servira du sable du désert et on montera un demi-mètre par jour sans redouter aucun écrasement. Pour les voûtes, on ajoute, à la composition ci-dessus, 1/4e à une demi-partie de ciment, en vue du décintrement qui peut se faire au bout de dix jours. Dans les travaux de l'aqueduc de la Vanne, à la traversée de la forêt de Fontainebleau, on employait 4 parties de sable fin, 1 partie de chaux et 1/3e de partie de ciment. Pour les pierres artificielles, les bahuts, pilastres et ornements, on met 4 parties de bon sable, 1 partie de chaux et une demi-partie de ciment. Pour les dalles devant résister à un frottement dur, on mélange 4 à 5 parties de sable, 1 partie de chaux et 1 partie de ciment. Tous ces mélanges doivent se faire avec très-peu d'eau et, pour ainsi dire, à sec.

M. le Président rappelle que M. Coignet a signalé les escaliers en pierre comme avantageux en cas d'incendie; il croit devoir exprimer la crainte que l'escalier placé à l'intérieur des maisons ne devienne alors une vraie cheminée d'appel, où monteraient des colonnes de fumées, gaz chauds, etc., et dans laquelle il serait imprudent

de s'engager. Il demande à M. Coignet comment se fait la taille des pierres artificielles, et quels sont les résultats des dallages de certains ateliers où il se fait beaucoup de poussières de débris de toutes sortes.

M. Coignet répond que les pierres artificielles se taillent comme les poudingues et présentent alors un aspect rugueux. Quant à la question des dallages, il en a été fait qui n'ont pas donné de poussière, lorsque les ouvriers avaient eu soin de ne pas mettre trop d'eau. Dans une filature, près Saint-Germain, on a enduit avec succès les dalles au moyen d'une solution alternée de silicate de potasse et de biphosphate de chaux. Le prix de ces dallages est de 5 à 6 francs du mètre superficiel.

M. Maldant fait remarquer qu'à sa connaissance, des travaux en béton aggloméré exécutés dans la Gironde à l'eau de mer, il y a déjà un certain temps, ont parfaitement réussi jusqu'à ce jour.

MM. Armengaud fils, Barbaroux, Carenou, Galy-Cazala, Gast, Monnier, Pierrard et Vergnes ont été reçus membres sociétaires, et M. Joubert, membre associé.

Séance du 16 Avril 1869.

Présidence de M. Alcan.

M. Ribail dit qu'il n'assistait pas à la dernière séance dans laquelle un historique des voitures à deux étages a été présenté par M. Robert.

Cet historique, ne remontant qu'à 1854, il croit devoir faire observer que les anciennes Compagnies de Saint-Germain et Versailles ont fait usage de voitures à deux étages dès leur origine, et que la Compagnie de l'Ouest a donné à cette question, depuis 1855, des développements importants. M. Ribail remet à la Société un résumé de documents sur cette question, ainsi qu'une série de dessins à l'échelle de 1/20, dont la Compagie possède les originaux.

M. Vidard demande à répondre à quelques points de la communication de M. Robert.

M. le Président fait observer à M. Vidard qu'il ne peut lui donner la parole que pour une rectification au procès-verbal, sinon ses observations trouveront leur place soit dans la discussion qui s'ouvrira plus tard sur la communication de M. Robert, soit dans une communication spéciale à son choix.

Le procès-verbal de la dernière séance est alors adopté.

M. le Président annonce que M. Vuillemin vient d'être nommé officier de la couronne royale de Prusse, et chevalier de l'ordre de Sainte-Anne de Russie, que M. Guébhard a été nommé chevalier de la couronne royale de Prusse, et chevalier

de Saint-Stanislas de Russie, que M. Dieudonné a été nommé chevalier de la couronne royale de Prusse, et M. Beugniot a été nommé chevalier de l'ordre de Charles III d'Espagne.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Herter et Mary, membres de la Société.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Gustave Lambert pour une communication sur l'expédition au pôle Nord [1], en voie d'exécution.

M. GUSTAVE LAMBERT, après avoir parlé de quelques-unes des difficultés matérielles, contre lesquelles il a eu à lutter jusqu'à ce jour, et de la profonde ignorance des notions scientifiques les plus simples qu'il a rencontrée même dans les classes éclairées, explique comment est faite la carte qui a été mise entre les mains de la plupart des membres de la Société, présents à la séance. Les parties blanches qui figurent les glaces, ne sont point des inventions faites à plaisir, et pour favoriser tel ou tel projet; elles ont été déterminées, en partie, au moyen de la carte allemande de Berghaus et Stulpnagel, éditée par Justus Perthes de Gotha.

M. GUSTAVE LAMBERT développe ensuite les motifs qui font croire à l'existence d'une mer libre au pôle. Il montre comment, au 21 juin par exemple, le soleil éclairant le pôle pendant toute la journée, tandis que l'équateur n'est éclairé que pendant douze heures, la quantité de chaleur totale reçue au pôle est plus grande que la quantité reçue à l'équateur : d'autant plus que là, les pertes de la nuit doivent compenser les gains du jour. L'énorme quantité de chaleur versée au pôle, pendant les six mois de jour continuel, est absorbée en grande partie par la fusion et la rupture des glaces.

Il y a deux sortes de glaces. Les *glaces de terre* se forment sur les pentes des montagnes, de la même manière que les glaciers des Alpes; par suite de la marche naturelle des glaciers, marche due à des causes multiples, des masses énormes de glace se détachent et se mettent à flotter dans la mer. On a rencontré de ces montagnes de glaces flottantes, *iceberg*, qui avaient une saillie de 150 à 200 mètres au-dessus du niveau de l'eau, et qui devaient avoir une base de 600 à 800 mètres au-dessous. Une pareille masse est aussi dangereuse pour un navire qu'une ligne de rochers. Ces glaces flottantes se rencontrent en très-grande quantité aux alentours du pôle sud, et c'est ce qui fait croire à l'existence d'un massif de terre compact et montagneux du côté de ce pôle.

La *glace de mer* se forme tout autrement. La neige, tombant en flocons pressés recouvre la surface, et, avant qu'elle ait eu le temps de fondre ou de se dissoudre, elle forme comme une sorte de bouillie épaisse; puis le tout se prend en masse sous une petite épaisseur. Si la neige continue à tomber, les couches se succèdent, la mer se prend sur de vastes étendues, et lors de la débâcle, ces glaces s'en vont formant de larges banquises ou *ice-fields*. Cette glace est d'un blanc laiteux, et ne contient jamais aucun débris terrestre ou végétal. Or, dans toutes les passes du Nord, on trouve de vastes champs de glaces : donc il doit y avoir de vastes mers. Dans la mer Arctique, après le détroit de Behring, jusque par delà le soixante-treizième degré nord, on ne voit que des champs de glace. C'est une des nombreuses raisons qui font préférer la voie de Behring à M. Lambert, et qui le portent à croire à l'existence de la mer libre autour du pôle.

1. M. Gustave Lambert a développé ses vues dans une brochure intitulée : L'*Expédition au pôle Nord*, que l'on trouvera à la bibliothèque de la Société. Nous nous contenterons donc de résumer la séance.

M. G. Lambert passe alors en revue les diverses tentatives faites, et il en fait ressortir les observations qui semblent favorables à son projet. — Ainsi par exemple, en 1827, Parry fit une tentative pour atteindre le pôle en partant du Spitzberg en traîneau. Après avoir marché le laps de temps nécessaire pour faire la distance, les observations montrèrent qu'ils n'étaient parvenus qu'au 82°40' nord. C'est que la banquise tout entière fuyait sous eux entraînée par le courant, et les ramenait en arrière d'une partie du chemin fait. — Cela constate donc un courant du nord au sud, qui n'amène que de la glace de mer : donc il y a de la mer au pôle. — Du côté du Spitzberg, du Groënland et du détroit de Davis, il n'y aura jamais de passages praticables ; ils ont été l'objet de bien des tentatives restées sans succès. L'illustre Franklin a relevé à pied toute une partie des côtes, depuis le détroit de Behring jusqu'au détroit de Davis ; il a donc montré ainsi que cette partie étant complétement baignée par la mer, le passage existait, mais sans être praticable. Mac-Clure et son équipage revinrent, en 1850, par le détroit de Davis, après avoir pénétré par l'océan Pacifique ; mais comme ils ont abandonné leur navire dans les glaces, on ne peut pas dire que le passage par eau ait été résolu.

L'Américain Kane, ou plutôt son intendant Morton, a vu la mer libre, par 78 degrés de latitude, du haut du cap Constitution, en 1853. Et, en 1861, le docteur américain Hugues est allé hiverner vers les mêmes parages, et, dans une excursion poussée jusque par 82 degrés de latitude, il a *vu la mer libre*.

Si l'on se reporte du côté de l'Asie, Wrangel a constaté la limite des glaces, et il a signalé aussi une inflexion prononcée vers le cap Tcheliouskin ; c'est pourquoi le projet français s'infléchit également de ce côté, comme le montre le tracé sur la carte, au lieu de chercher à aller directement du détroit de Behring au pôle.

Une fois arrivé au pôle Nord, M. Lambert reviendra peut-être par l'Atlantique, et pour cela il suffira d'encadrer le navire dans un champ de glace, et de se laisser dériver avec lui, en se laissant entraîner par le courant de Parry. La glace se découpe facilement au moyen de scies manœuvrées en quelque sorte comme les sonnettes à tiraudes ; — en une heure on découpe deux longueurs de navires. — Mais il ne faut pas se faire d'illusion ; ce mode de retour ne constitue nullement un passage commercial, et ce n'est jamais de la sorte qu'il pourra être envisagé.

M. Lambert entre maintenant dans des détails techniques sur la construction du navire destiné à l'entreprise, aujourd'hui presque terminé au Havre. Les machines à vapeur étant grandes mangeuses de charbon, on s'est décidé pour un navire à voiles, en ayant soin d'y adjoindre des chaloupes à vapeur. Le navire est grand, pour pouvoir faire une longue campagne ; il jauge 700 tonneaux, ce qui correspond à un déplacement d'environ 1200 tonneaux. Il a été construit au Canada, et il est très-fort de coque et de parois. Il a été de plus revêtu d'une couverture de protection en bois de fort équarissage, dont l'épaisseur atteint 25 centimètres à la ligne de flottaison. A l'avant est une seconde étrave verticale, consolidée par une forte charpente supportant un masque mobile en bois et rails de fer destiné à subir le premier choc. Le navire est divisé en sept compartiments étanches par des cloisons transversales. Il sera pourvu de 500 tonneaux de charbon en briquettes, quatre ans de vivres, et sera monté par 50 hommes d'équipage, 6 officiers, 3 médecins et 3 savants. — L'entrepont a été approprié au logement de l'équipage, chacun ayant sa cabine bien rembourrée de laine.

M. Lambert termine en indiquant le but utile de l'entreprise, qui est tout scientifique, et nullement commercial, comme il l'a déjà dit. Les renseignements de toute

sortes restent à prendre sur les mers polaires, riches en animaux de toutes sortes. Des sondages permettront de compléter les renseignements géologiques. — De nombreuses observations seront faites sur les courants. Des expériences au pendule serviront pour le calcul exact de l'applatissement. Les observations des marées auront une importance capitale pour infirmer ou justifier l'adoption d'une théorie générale.

M. LAMBERT espère que la Société des ingénieurs civils, dont les membres se trouvent journellement en contact avec tous ceux qui peuvent favoriser l'esprit d'entreprise, voudra bien lui prêter son concours moral; et, s'il réussit dans son expédition, il sera fier à deux titres, fier de la réussite en elle-même, et fier plus encore de ce qu'elle aura réussi sous le seul empire de l'initiative privée. Ce serait là un précédent considérable pour le développement de nos mœurs publiques.

M. LE PRÉSIDENT remercie, en son nom et en celui de la Société, M. Lambert de l'intéressante conférence qu'il vient de faire à la Société.

Séance du 7 Mai 1869.

Présidence de M. MICHEL ALCAN.

Le procès-verbal de la séance du 16 avril est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Perrault, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur, et M. Loisel, également membre de la Société, a été nommé chevalier de l'ordre portugais de Notre-Dame de la Conception de Villa-Viçosa.

M. LE PRÉSIDENT, avant de commencer la séance, dit qu'il a à remplir le pénible devoir d'annoncer une nouvelle perte éprouvée par la Société, dans la personne de l'un de ses membres fondateurs. M. Victor Laurent, quoique encore dans la force de l'âge, vient de succomber après avoir fourni une carrière des mieux remplie.

« Dès sa sortie de l'École centrale, en 1836, notre confrère devint l'un des chefs de la fabrique de quincaillerie de *Plancher-les-Mines*, connue sous la raison sociale de *Laurent frères et beau-frère*. La partie technique fut particulièrement réservée à Victor Laurent, en sa qualité d'ingénieur. Il a contribué pour une large part aux perfectionnements et aux progrès économiques considérables dont sa spécialité a été l'objet depuis une trentaine d'années.

« Il fut l'un des premiers à comprendre les avantages de l'emploi de la fonte malléable; on lui doit de nombreuses applications ingénieuses de ce métal, et, entre autres, l'exécution d'une ailette de métier, qui a eu un grand succès. L'appropriation faite de la fonte malléable à cet organe lui a permis de réaliser économiquement des conditions délicates, d'une exécution difficile et dispendieuse, par l'emploi d'un autre métal. C'est grâce à des perfectionnements techniques incessants, que l'usine de Plancher-les-Mines est parvenue à se placer au même rang que ses devancières les plus importantes, dont les produits ont une réputation universelle.

« Cependant le labeur imposé à notre regretté confrère par sa tâche de tous les jours ne suffisait pas à sa dévorante activité. Ceux qui l'ont connu savent l'ardeur qu'il mettait à creuser une idée et à en poursuivre la réalisation. L'indication de certains résultats auxquels ses recherches ont abouti démontre la valeur de sa laborieuse intelligence, et pourra le faire apprécier par tous.

« Depuis Vaucanson, la plupart des mécaniciens qui se sont occupés des métiers automatiques à tisser se sont surtout attachés à créer un régulateur précis. L'importance de cet organe et la difficulté de son exécution ne peuvent être contestées, attendu que la qualité fondamentale du produit, la régularité de sa confection en dépendent, et celle-ci à son tour est, toutes choses égales, la conséquence d'un serrage uniforme des fils, soumis à des tensions qui varient par la force des choses à chacun de leurs entrelacements. De là des conditions telles à réaliser qu'aucun régulateur en usage jusqu'ici ne les remplit d'une manière complète et entièrement satisfaisante.

« Victor Laurent a cependant résolu la question en principe, et d'une façon mathématique ; mais la précision même de son régulateur, ne tolérant pas de médiocrité dans l'exécution, entraîne à une dépense un peu trop élevée, eu égard à celle du métier dont il n'est qu'un accessoire. Il n'en est pas moins vrai que l'appareil automatique imaginé et exécuté par Laurent, reste comme le modèle le plus rationnel; il renferme évidemment la solution définitive de la question.

« Mais l'invention capitale de Victor Laurent, celle à laquelle il a consacré les dernières années de sa carrière, consiste dans la création et la mise en activité d'une machine à faire les clous destinés à la ferrure des chevaux. La *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, après avoir fait constater la valeur de cette œuvre, a accordé la première de ses récompenses à son auteur. Nous ne saurions mieux faire que de reproduire les termes dans lesquels le rapporteur, M. Tresca, a motivé cette distinction, au nom du conseil de la Société d'encouragement.

« MM. Laurent frères sont, à Plancher-les-Mines, à la tête d'une grande fabrication « d'objets de quincaillerie, de serrurerie et d'ustensiles de ménage, qui fournit de la « main-d'œuvre à toute la population environnante.

« Les soins que réclame cette grande industrie, si multipliée dans ses détails, n'ont « pas empêché M. Victor Laurent, ingénieur civil et l'un des chefs de cette maison, « de donner l'attention la plus minutieuse à l'invention d'une machine nouvelle sur « laquelle a été appelée l'attention de la Société d'encouragement. Cette machine a « pour objet de forger, successivement et d'une manière tout à fait automatique, un « grand nombre de clous de fer à cheval. Le fer, chauffé par le bout, étant présenté « à la machine, celle-ci mesure la longueur qu'elle doit employer, la forge sur toute « cette longueur, en lui donnant à chaque point l'épaisseur et la largeur variées que « son emploi ultérieur nécessite; puis elle coupe la barre, emboutit la tête, et livre le « clou terminé dans une trémie pendant qu'une autre barre est soumise, entre les « mêmes organes, à cette même succession d'opérations.

« La partie capitale de la machine de M. Laurent consiste dans le jeu des cames, « qui sont étudiées de telle façon que les quatre marteaux qui agissent deux à deux « sur le clou, dans le sens vertical et dans le sens horizontal, sont limités dans cha- « cune de leurs courses individuelles, suivant l'épaisseur même qu'il faut alors lais- « ser au fer.

« Cette combinaison, nouvelle et ingénieuse, rendue plus pratique encore par « l'emploi d'étampes en fonte blanche, facilement renouvelables, doit être considérée « comme un perfectionnement important dans la disposition des machines à forger;

« et, se plaçant au seul point de vue de l'invention et des difficultés de détail qu'il a « fallu vaincre pour le réaliser, le Conseil d'administration n'a pas hésité à décerner « à M. Victor Laurent une médaille d'or, la première de ses récompenses. »

Il était dans la nature de notre regretté confrère de s'attacher à la solution des problèmes mécaniques les plus difficiles et les plus compliqués. La tension constante de son esprit sur des sujets ardus, et l'activité qu'il apportait à ses recherches n'ont pas été sans influence sur le développement de la cruelle maladie dont il a été atteint au moment où il rêvait et préparait la réalisation de nouveaux progrès.

Il appartient à un ami de trente ans d'ajouter en toute sincérité que les qualités de l'homme étaient à la hauteur de l'intelligence chez Victor Laurent. Il était doué au suprême degré des sentiments qui font le charme de la vie et la sûreté des relations. Sa sollicitude et sa philanthropie éclairée pour la nombreuse population qui l'entourait; sa vie laborieuse et son dévouement pour les siens étaient un exemple salutaire pour tous. Puissent les regrets et le souvenir sympathique de ses anciens camarades et de ceux qui l'ont connu, apporter un adoucissement à la légitime affliction de son intéressante famille!

M. Vidard présente quelques observations en réponse à la communication de M. Robert, concernant les voitures à deux étages.

Il rappelle à ce sujet qu'à l'occasion du procès-verbal de la séance du 8 janvier dernier, il avait adressé à M. le Président une lettre, en date du 22 du même mois, dont il demandait l'insertion au procès-verbal. Cette lettre, après avoir été lue en séance, a été écartée par la raison que la question, devant revenir très-prochainement devant la Société, les observations viendraient alors plus utilement.

M. Vidard dit qu'il s'efforcera d'être bref et se conformera scrupuleusement aux observations récentes de M. le Président, en écartant autant que possible les faits de pure personnalité, auxquels notre Société doit rester étrangère. Il croit ne pouvoir faire mieux que de s'en référer aux paroles par lesquelles M. le Président a exprimé que l'opinion émise par un membre lui était toute personnelle et ne pouvait engager aucunement la Société.

Abordant la question générale, M. Vidard indique qu'il ne s'étendra pas sur les avantages que présentent les voitures à deux étages pour l'exploitation des chemins de fer : diminution sensible du poids mort traîné, du nombre des véhicules, de la longueur des trains, des quais, ateliers, remises, etc.; augmentation du nombre de voyageurs par train et, par conséquent, de la recette, ou bien réduction du nombre des trains et de la dépense; en un mot, augmentation de la puissance des chemins de fer comme moyen de transport, — avantages qui paraissent être généralement reconnus.

Il examine comment se pose naturellement le problème à résoudre pour rendre acceptable la substitution des voitures à deux étages aux voitures ordinaires pour l'exploitation des chemins de fer; autrement dit, quelles sont les conditions que les voitures à deux étages doivent remplir pour se généraliser.

Aujourd'hui que les chemins de fer forment comme un réseau artériel unique qui couvre la France, et dont le cœur est à Paris, un nouveau modèle de voitures ne peut être accepté et ne peut se développer qu'autant qu'il remplit les conditions suivantes :

1° Pouvoir passer sans danger sous les ouvrages d'art les plus restreints du réseau général ;

2° Pouvoir faire partie de tous les trains et, par conséquent, s'atteler avec tous les véhicules ordinaires ;

3° Circuler sans danger à toutes les vitesses usitées.

En ce qui concerne les ouvrages d'art, la loi du 11 juin 1859 a élevé à 4m.80 la distance verticale qui doit être ménagée au-dessus des rails pour le passage des trains. Mais la loi n'ayant pas d'effet rétroactif, tous les chemins de fer concédés avant le 11 juin 1859, c'est-à-dire ceux qui forment les principales lignes, tous ceux qui aboutissent à Paris, et forment le cœur du réseau, ont leurs ouvrages d'art construits suivant les lois antérieures, lesquelles avaient réglé la hauteur libre au-dessus des rails à 4m.30 seulement.

En outre, comme les voûtes des tunnels et des ponts cintrés abaissent encore cette distance verticale à mesure qu'on s'écarte de la voie, il en résulte que, dans toute cette catégorie d'ouvrages d'art, l'intrados des voûtes correspondant à la corniche des impériales est seulement à 3m.90 au-dessus des rails.

Comme il faut prévoir un jeu d'au moins cinq centimètres pour les oscillations des ressorts et la trépidation des voitures en marche, on peut établir que le maximum de hauteur qui ne peut être dépassé par les voitures destinées à un service général est de 4m.25 au milieu et de 3m.85 à la corniche.

Or, il faut pour loger deux voyageurs l'un au-dessus de l'autre, dans deux caisses superposées, au moins 1m.70 de hauteur intérieure à chaque caisse, soit ensemble 3m.40 qu'il faut porter à 3m.45, en ajoutant 0m.05 pour l'épaisseur de deux cloisons.

La différence entre 4m.25 et 3m.45, c'est-à-dire 0m.80, représente la hauteur au-dessus des rails que doit avoir le plancher de la caisse inférieure dans les voitures à deux étages.

L'avis de M. Vidard est qu'aucune des voitures à impériale ou à deux étages connues, ne remplit cette première condition. — En effet, dans toutes ces voitures, la hauteur à la corniche de l'impériale, qui ne devrait pas dépasser 3m.85, a plus de 4 mètres ; et, quant à la hauteur totale, qui ne devrait pas dépasser 4m.25 au milieu, elle est, dans le premier projet de la Compagnie des Charentes, de 4m.39, et dans le deuxième projet, de 4m.60. — Tandis que dans les voitures de son système, le modèle de l'Est, par exemple, elles atteignent seulement, à la corniche, 3m.70 et au milieu 4m.20.

A l'égard de la deuxième condition, relative à l'accouplement des nouvelles voitures dans tous les trains avec les autres véhicules, les conditions de l'attelage ont été déterminées, sur la demande du Ministre des travaux publics, par une décision des compagnies de chemins de fer réunies en syndicat, en date du 2 avril 1860. La hauteur réglementaire du tamponnement et de l'attelage a été fixée à un mètre au-dessus du niveau des rails pour les véhicules vides ; la limite minimum, en deçà de laquelle il serait dangereux d'admettre les wagons dans les trains, est de 0m.90, soit, entre les deux hauteurs, une latitude de 0m.10 comprenant la flexion des ressorts sous la charge et l'usure des bandages et des coussinets.

L'un des projets de la Compagnie des Charentes, présenté en 1863, indique, pour la cote de hauteur de l'attelage et du tamponnement, 0m.93. Mais il faut observer que les ressorts de suspension de cette voiture sont placés au-dessus des boîtes d'essieux, ce qui ne permet pas de leur donner la bande initiale ordinaire ; la flexibilité la plus faible qu'on puisse donner aux ressorts de voiture est de 0m.070 par 1000 kil-

grammes. Cette voiture pouvant contenir 70 voyageurs, au poids moyen de 70 kilog. l'un, est appelée à supporter un chargement normal de 4,900 kilog., soit par ressort 1225 kilog., qui correspondent à une flexion de la voiture de 0m.083. Si on ajoute, pour l'usure des bandages et des coussinets et pour l'affaissement ordinaire des ressorts, 0m.05, on voit que la hauteur du tamponnement peut descendre au-dessous de 0m.80 : dans de telles conditions, cette voiture ne pourrait être admise dans aucun train.

M. Vidard arrive à la troisième des conditions voulues pour les voitures à deux étages, celle de pouvoir circuler à toutes les vitesses usitées. Pour la remplir, il faut que le centre de gravité de la voiture soit placé assez bas pour ne donner aucune crainte de déraillement.

Si l'on prend pour terme de comparaison les voitures à impériale, en usage depuis 15 à 18 ans, on voit que la vitesse réglementaire de ces voitures (arrêts aux stations non compris) est de 50 kilomètres dans le cas ordinaire, et qu'elle atteint parfois 55 et même 60 kilomètres sans que jamais aucun accident se soit produit pour cette cause.

M. Vidard dit que dans son modèle de voiture il a obtenu, par l'abaissement considérable du châssis et des siéges des voyageurs dans les deux caisses, un abaissement du centre de gravité par rapport aux voitures à impériale ordinaires, qui n'est pas moindre de 12 à 15 centimètres à vide, et qui atteint 20 centimètres en charge. Avec ces voitures donc, on peut, en toute sécurité, atteindre les vitesses de 60, 70 et 75 kilomètres, qui sont celles des trains express. La première voiture de ce système a été expérimentée à ces vitesses, en 1864, dans un train express du Nord, de Paris à Bruxelles, et, ensuite, de Bruxelles à Malines, où elle était placée seule derrière une machine Crampton marchant à toute vitesse. Elle s'est parfaitement comportée dans les deux expériences.

M. Vidard fait ressortir que son système, conçu dans les vues les plus larges, se distingue par l'ample satisfaction qu'il donne au besoin général. Les deux systèmes en présence ne peuvent être assimilés; ils diffèrent par les points fondamentaux, c'est-à-dire par leur but et par leurs résultats, autant que par les moyens d'exécution.

M. Vidard récapitule, en quelques mots, les moyens qui lui ont permis de réaliser ces conditions :

1° Le plancher de la caisse inférieure disposé directement et sans ressaut sur le châssis ;

2° Emploi pour le châssis de brancards en fer double T, de 0m.180 de hauteur seulement, et offrant un *moment de résistance* supérieure à celui des brancards en bois des châssis ordinaires ;

3° Les ressorts de suspension fixés sur le côté des longerons au moyen de mains articulées et à vis pour régler leur bande initiale ;

4° Ces ressorts placés directement sur le dessus des boîtes d'essieux, dont la distance à l'axe a été réduite à 0.075 ;

5° Enfin, l'ensemble du système de tamponnement et de traction maintenu à la hauteur réglementaire par le relèvement de l'extrémité des longerons en crosse, et placé en porte-à-faux par rapport au choc et au dehors de la caisse.

Cette dernière disposition, qui a été trouvée audacieuse, ne l'est point en réalité. Il s'agissait, non de résister à tous les chocs pouvant se produire dans une collision, mais seulement d'opposer une résistance qui ne fût pas inférieure à celle des châssis des voitures ordinaires. M. Vidard pense avoir atteint ce but en donnant au point de

rupture des longerons, qui se trouve à la naissance des crosses, une section suffisante pour offrir un moment de résistance au moins égal à celui des brancards en bois, nonobstant un porte-à-faux de 0m.30 entre l'axe de tamponnement et le milieu des longerons. Il a employé pour cela des plaques en tôle rivées, de chaque côté des longerons, à la partie voulue. En augmentant ou diminuant l'épaisseur de ces flasques, on règle à volonté le moment de résistance du châssis, jusqu'à le rendre tout aussi résistant que s'il était parfaitement droit.

M. Vidard dit qu'il ne s'arrêtera pas à discuter chacun des moyens employés par lui, et discutés en détail par M. Robert; il n'ira pas non plus rechercher si dans le nombre il s'en trouve quelques-uns qui existent ou aient existé en Suisse, en Bavière ou ailleurs. Aucun des moyens employés par lui ne constitue en particulier le système; c'est la combinaison d'ensemble qu'il faut considérer, parce que seule cette combinaison, faite dans un but déterminé, a produit le résultat cherché.

M. Robert dans son mémoire paraît revendiquer pour M. Love la priorité de l'idée des voitures à deux étages, en arguant que cet ingénieur se serait préoccupé de ce système de voitures dès 1854 et en aurait indiqué les avantages dans une note adressée au Ministre en 1857; mais il n'a produit à la Société aucun dessin antérieur à celui de 1863, qui permette d'apprécier son idée.

M. Robert ignore, sans doute, de nombreux travaux qui ont été faits, dans le même but, par les Compagnies des chemins de fer de Versailles, de Saint-Germain, de l'Ouest, de l'Est et de la Ceinture. Étant dans les chemins de fer depuis vingt années, M. Vidard a participé à ces travaux dont l'historique lui serait facile; tandis que M. Love n'a donné un corps à son idée qu'en 1863, et la fait exécuter seulement maintenant, en 1869.

Ce que M. Vidard tenait à établir, c'est qu'il n'a pas la prétention qu'on lui prête de revendiquer l'idée des voitures à deux étages, mais seulement du modèle de voiture à deux étages qu'il a décrit.

Pour terminer, M. Vidard repousse l'imputation tendant à établir que M. Bournique aurait profité de la communication qui lui aurait été faite par un autre, pour faire avec lui une voiture déjà imaginée. M. Bournique étant mort, c'est à M. Vidard son ami, qu'il appartient de déclarer que M. Bournique est resté complétement étranger à l'élaboration et à l'étude du système de voiture que ces Messieurs ont fait breveter ensemble. M. Vidard affirme qu'il est le seul auteur de ce système, ainsi que cela est établi dans les actes qui règlent leurs intérêts respectifs. M. Bournique fournissait les fonds; c'est lui qui, en ouvrant généreusement sa bourse et ses ateliers à M. Vidard, l'a mis à même d'exécuter son projet qu'il avait vainement offert, en 1862, aux chemins de fer et à plusieurs maisons de construction.

Voilà la vérité en ce qui touche M. Bournique; et M. Vidard avait à cœur de le dire pour le respect qu'il porte à sa mémoire.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. E. Flachat qui s'excuse de ne pouvoir assister à la séance, et par laquelle il demande qu'on insère dans le procès-verbal une communication qu'il devait faire sur la marche à contre-vapeur des machines locomotives.

M. E. Flachat revendique la présentation à la Société du mémoire de M. Le Chatelier sur la marche à contre-vapeur des machines locomotives, parce qu'il a été peut-être le témoin le plus intimement mêlé aux progrès de cette grande amélioration.

La marche à contre-vapeur est devenue le complément obligé de la conduite des

machines ; elle accroît leur utilité en mettant le mécanicien en pleine possession de son train.

Avec les profils accidentés, avec la fréquente succession des trains sur les grandes lignes, avec la nécessité de réduire le temps du ralentissement des trains aux arrêts dans les gares intermédiaires à la stricte limite de durée, il ne suffit plus au mécanicien de remorquer un train en lui imprimant une vitesse en rapport avec les résistances que son poids et les rampes du profil opposent à sa marche, il lui faut être à chaque instant maître de modérer cette vitesse sur les plus fortes inclinaisons, de produire rapidement et sans concours le ralentissement et l'arrêt, et cela en demandant à la machine tout l'effort dont elle est susceptible sans qu'il en résulte aucune épreuve fatigante pour son mécanisme ou sa chaudière.

La marche à contre-vapeur est née du projet de la rampe de Capvern, la première qui, avec une inclinaison de $0^{m}.031$, devait avoir, et a en effet une longueur de 10 kilomètres (10.637^{m}).

Il fallait présenter à l'appui de ce projet un frein modérateur. Les seuls freins connus, et en service habituel, ne modèrent la vitesse des trains qu'en exerçant sur la circonférence des roues une pression qui en ralentit le mouvement rotatif ; mais cette pression inégale et irrégulière amène souvent la suspension de ce mouvement, les roues glissent alors comme des patins sur les rails et s'usent rapidement, ce qui produit des plats. Ce n'est pas là le seul inconvénient. Les freins répartis sur la longueur des trains sont manœuvrés par des gardes qui obéissent au sifflet du mécanicien, mais souvent ils ne l'entendent pas, ou ils y obéissent inintelligemment, ce qui produit des vitesses variables du train, des chocs entre les véhicules, des efforts considérables sur les attelages et des ruptures qui ont quelquefois amené les plus graves accidents.

La pleine possession du train aux mains du mécanicien, sans le secours indispensable des gardes-freins, est donc la condition la plus enviable entre les desiderata de l'avenir dans la conduite des machines.

Lorsque la Compagnie du chemin de fer du Midi demanda à l'Administration des travaux publics la préférence en faveur d'un profil à rampe de 31 millimètres sur un autre profil à inclinaison beaucoup plus faible, mais beaucoup plus long, elle voulut présenter à l'appui de sa proposition les moyens connus et expérimentés de faire modérer par le mécanicien la vitesse du train à la descente des fortes pentes.

Il n'y avait qu'un seul procédé de ce genre en cours d'usage : c'était le frein de Bergue, employé avec succès à la descente de la rampe de Saint-Germain [1].

Après le renversement de la vapeur et la fermeture du régulateur, les gaz produits par la combustion, aspirés par le tuyau d'échappement, refoulés par les pistons, passaient dans un réservoir au lieu d'être introduits dans la chaudière ; le mécanicien pouvait régler la pression dans ce réservoir, et développer ainsi sur les pistons une résistance presque égale à celle de la contre-vapeur.

Les dessins de cet appareil furent produits au Comité technique du Midi, et devinrent l'objet d'une discussion approfondie : les uns étaient disposés à en présenter l'usage comme un argument en faveur du profil à fortes rampes ; d'autres le repoussaient comme n'offrant pas les garanties qu'on en espérait.

M. Le Chatelier faisait observer que le succès sur une rampe dont la longueur

1. **M. Beuguiot** avait antérieurement essayé de faire le vide dans les cylindres en fermant l'échappement. C'était une faible action à opposer au mouvement.

n'excède pas 2 kilomètres n'était pas suffisant; que les gaz produits par la combustion, aspirés par l'échappement, accompagnés de cendres et de fragments de coke, comprimés d'ailleurs dans les cylindres, élèveraient la température de ceux-ci au bout de quelques minutes au point d'altérer les segments des pistons et le poli des cylindres. Il ne considérait pas le réservoir d'air de Bergue comme indispensable; on pouvait se borner à évacuer les gaz refoulés avant leur entrée dans la chaudière par un orifice sur le conduit de vapeur. Si l'échauffement se produisait par l'influence de la température propre des gaz, on aspirerait l'air du dehors; si l'échauffement se produisait encore, on aspirerait de la vapeur extraite de la chaudière et conduite à la base du tuyau d'échappement. Si la vapeur ne suffisait pas à la lubréfaction on pourrait la saturer d'humidité. — Telle fut, d'après des souvenirs constamment rappelés dans cette voie par le travail incessant dont cette belle question n'a jamais cessé d'être l'objet toutes les fois que les essais mal compris s'écartaient du programme, la série précise et complète d'idées exposées par M. Le Chatelier dans cette discussion. Aucune n'en fut contestée en principe par les membres présents, à l'exception de la suppression du récipient de Bergue, pour le cas d'emploi de l'air; l'admission de l'air froid au lieu des gaz produits par la combustion fut, quelque temps après, un des perfectionnements apportés par la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest. Le jour même de cette discussion (28 juillet 1865), M. Le Chatelier donna des instructions pour l'essai sur le chemin de fer du nord de l'Espagne, dont il avait la direction générale, des trois bases de son système.

1° L'absence de réservoir et la régulation de la pression par un orifice de décharge des gaz refoulés placé sur le conduit de vapeur;

2° L'admission de l'air froid dans le tuyau d'échappement;

3° L'injection directe de la vapeur à la base du tuyau d'échappement.

Six semaines après (19 septembre 1865), les premiers résultats des essais prescrits par M. Le Chatelier ayant démontré l'impossibilité d'employer l'air et même l'air frais, cet ingénieur formula un programme complet d'expériences régulières, basé principalement, et en dernière tentative, sur l'essai d'un jet d'eau prise dans la chaudière, à la base du tuyau d'échappement. Il répéta cette instruction d'une manière plus formelle encore le 21 février 1866.

Le programme était alors parfaitement déterminé. Les tâtonnements résultant de la longueur des rampes, de la pesanteur des trains et de leur inertie, étaient guidés dans la voie qui devait aboutir au succès. Ce fut cependant sur le chemin même où ce programme eût dû être suivi avec le plus de dévouement qu'il aboutit à un arrêt regrettable; cela fut dû à une idée préconçue et à une direction systématique donnée en conséquence aux essais qui, au milieu d'une période de tâtonnements, vint prématurément fixer, pour l'emploi du mélange de vapeur et d'eau, des dispositions qui ne pouvaient atteindre le but. Cela s'est expliqué postérieurement par la prise d'un brevet par l'agent chargé de suivre ces essais, acte occulte commis malgré l'intention formelle exprimée à plusieurs reprises par M. Le Chatelier et par la Compagnie du chemin de fer du nord de l'Espagne, de livrer au public les résultats de cette utile expérience. Aussi à la suite d'avaries, de difficultés et de dangers dans la manœuvre du levier de changement de marche, l'usage de la contre-vapeur tomba presque en désuétude sur celui des chemins de fer qui pouvait en tirer le plus grand parti, à cause de la forte inclinaison de ses pentes et de leur longueur exceptionnelle; la pratique de la marche à contre-vapeur ne paraît pas y avoir été établie régulièrement, et, à la fin de 1868, il avait fallu l'abandonner officiellement sur les machines les plus es-

sentielles au trafic ; ce n'est qu'en 1869 que, reprise par M. Noblemaire, sur les bases du programme interprété en toute liberté d'esprit, elle vient enfin d'atteindre le but.

Pendant ce temps MM. Marié et Forquenot, affranchis de toute autre préoccupation personnelle que celle du service qu'ils dirigent, avaient adopté pleinement le programme de M. Le Chatelier ; mesurant le mélange de l'eau à la vapeur, de manière à obtenir à la fois toute la puissance modératrice dont la contre-vapeur est susceptible et la lubrifaction la plus complète des pistons et des tiroirs, ils ont atteint de suite les meilleurs résultats.

Cependant, pour achever l'histoire d'une découverte évidemment féconde dans l'emploi de la locomotive, il y a lieu d'insister sur une dernière phase qui s'accomplit depuis quelques mois. Nous ne voulons pas parler des calculs plus ou moins hypothétiques basés sur la thermo-dynamique. Le domaine des faits est si étendu dans tous les phénomènes qui se produisent dans l'emploi de la contre-vapeur ; les questions de température de la vapeur, de l'eau, des cylindres, sont si complexes, que la base d'empirisme d'où il faut partir livre au hasard les déductions scientifiques les plus rationnelles.

Nous ne pouvons que rendre grâce aux savants qui étudient cette question avec autant d'indépendance de pensée que de désintéressement ; mais nous devons constater que, dans la construction des machines à vapeur, les améliorations matérielles à attendre de ces recherches scientifiques, ne se montrent pas encore d'une manière distincte.

Ce dont nous voulons parler, c'est la part de plus en plus forte de l'injection d'eau dans la marche à contre-vapeur. La valeur de cet agent a été signalée par M. Le Chatelier, au triple point de vue du rafraîchissement largement assuré des cylindres ; de l'obturation due à la vaporisation qui s'y produit en excès, et qui fournit même à un échappement de vapeur par la cheminée ; et enfin de la parfaite lubréfaction des surfaces frottantes.

Cette idée hardie, mais vraie, a été longtemps méconnue en Espagne, où les ingénieurs chargés des essais se sont appliqués à mettre le moins d'eau possible et n'en ont augmenté que successivement la quantité sous l'empire de la nécessité.

En France, nous l'avons déjà dit, les questions ont été mieux comprises, et par des proportions suffisantes et considérables d'eau injectée dans les cylindres avec la vapeur, lorsqu'il fallait exiger de la machine un travail important et continu, on est arrivé du premier coup, et dès avant la fin de 1866, à des résultats qui n'avaient pas encore été atteints deux ans plus tard en Espagne. On avait agi jusque dans ces derniers temps dans la pensée que la vapeur prise dans la chaudière était un agent indispensable ; qu'il était nécessaire de la faire intervenir pour remplir les cylindres et empêcher les rentrées d'air, l'eau n'ayant d'autres fonctions que celle de rafraîchir les pistons et les cylindres.

M. Le Chatelier a jeté un grand jour dans la question en montrant que la masse des cylindres alternativement en contact avec l'eau qui vient par l'échappement et avec la vapeur qui arrive par le régulateur, est un réservoir de chaleur qui fournit les éléments de la vaporisation de l'eau pendant l'aspiration, et auquel la chaleur perdue est immédiatement restituée par la vapeur de la chaudière : de telle sorte que, suivant l'expression de M. Le Chatelier, les cylindres deviennent des *échangeurs* de chaleur.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans les détails qu'il a donnés à ce sujet ; mais il reste établi, par des expériences multipliées, qu'on peut se dispenser de puiser

de la vapeur dans la chaudière, qu'on peut se borner à y puiser de l'eau, et qu'on satisfait ainsi sans inconvénient et, suivant l'auteur, avec de sérieux avantages, à toutes les conditions du problème.

Dès que l'eau suffit, à l'exclusion de la vapeur, on doit l'envisager comme la vraie solution; l'addition de la vapeur peut offrir, à tel ou tel point de vue, des avantages plus ou moins sérieux, mais seule elle ne suffit pas, ou ne suffit qu'imparfaitement d'ailleurs, même dans des cas très-secondaires.

Quel que soit le point de vue auquel on se place, toutes les combinaisons intermédiaires sont étroitement renfermées entre les deux termes du programme de M. Le Chatelier : la vapeur en excès pour empêcher les rentrées d'air; injection d'eau aux lieu et place de la vapeur.

On ne peut du reste que constater le phénomène, et il est difficile de l'expliquer autrement que par la complète vaporisation de l'eau introduite dans les cylindres.

Sans doute, depuis nombre d'années les lumières d'introduction et d'émission ont été agrandies, de plus elles sont disposées sur le côté du cylindre, et, depuis ce temps, les chocs résultant de l'entraînement de l'eau s'étaient notablement atténués, mais ils n'avaient pas entièrement disparu, tandis qu'ils n'apparaissent nullement dans la marche à contre-vapeur avec injection d'eau seule. Aussi cet emploi se propage-t-il très-rapidement.

Ce court exposé suffit pour montrer l'intérêt du Mémoire de M. Le Chatelier. La théorie et la pratique de la marche à contre-vapeur y sont expliquées avec la lucidité et la sincérité habituelles dans les écrits de cet ingénieur.

M. Flachat pense qu'on ne sera pas surpris qu'il se soit borné à indiquer l'origine et l'auteur du procédé qui a pris tous les caractères d'une importante découverte, et à faire ressortir la clarté et la simplicité de son programme. Il ne veut pas parler ici des entreprises qui ont été faites ou qui pourraient l'être sur l'invention en elle-même. Toutefois, nous ne pouvons pas omettre de constater le désintéressement avec lequel l'auteur de ces importantes recherches, par sentiment des devoirs de sa position, en a mis les résultats dans le domaine public, et de rappeler que, pour cela, c'est à notre Société qu'il s'est adressé en les lui communiquant dans sa séance du 6 février 1866. Nous savons que cet exemple n'a pas été suivi, et c'est doublement un devoir pour nous d'être les interprètes de la reconnaissance publique vis-à-vis d'un ingénieur qui a pris une part aussi active aux progrès de la locomotion, et dont le nom restera désormais attaché à la marche à contre-vapeur des machines locomotives, comme il l'est aux conditions mécaniques de leur stabilité.

M. Galy-Cazalat présente quelques considérations sur la conversion rapide des masses de fonte en acier fondu homogène.

Il dit qu'en 1851 il fit connaître un moyen de fabriquer, *sans frais*, les gaz d'éclairage et de chauffage, en faisant passer un courant de vapeur à travers un bain de fer; ce courant produit simultanément du gaz hydrogène et de l'acier dont la plus-value rend nulle la dépense de fabrication de l'hydrogène recueilli dans un gazomètre.

Il démontre, et l'expérience a prouvé, qu'un *seul* courant de vapeur *saturée* ne peut convertir, en trois ou quatre heures, que deux cents kilogrammes de fonte en acier hétérogène et à l'état solide.

Afin d'obtenir de l'acier *fondu*, *homogène* et à l'état *liquide*, il imagina, en 1855, de faire passer simultanément plusieurs courants d'*air comprimé*, puis de vapeur

surchauffés, à travers des milliers de kilogrammes de fonte liquide, qui se convertissent, en moins de trente minutes, en acier fondu à l'état liquide, prêt à être coulé dans des moules. Après quatre années d'expériences, n'ayant point obtenu de l'autorité l'autorisation d'établir une canalisation d'un kilomètre pour conduire l'hydrogène gratuit dans le cirque de M. Dejean, il dut renoncer à recueillir le gaz d'éclairage.

M. Martien de New-Jersey, en 1856, prétendit avoir trouvé le moyen de convertir la fonte en acier fondu en supprimant le puddlage opéré à bras d'homme.

M. Martien explique que la fonte à l'état liquide tombe sous forme de pluie dans une espèce de poche de fondeur, dans laquelle on injecte de l'air forcé. Cet air forcé décarbure rapidement les filets métalliques qu'il traverse en les convertissant en acier fondu, et le plus souvent en fer liquide. Pour convertir le fer en acier, M. Martien se réserve d'ajouter au bain une certaine quantité de fonte spathique pure, afin d'ajouter au fer le carbone qui lui manque pour être converti en acier.

En 1856, Bessemer présenta un système de fabrication du fer et de l'acier obtenus en faisant passer un courant d'air ou de vapeur à travers un bain contenant, au plus, deux cents kilogrammes de fonte.

M. Galy-Cazalat démontre que, lorsqu'on fait passer un courant de vapeur ordinaire, le bain de fonte ne peut être converti qu'en acier hétérogène et à l'état solide.

Il en est de même quand c'est un courant d'air passant par un seul tuyau fixé en un point quelconque d'un bain d'environ deux cents kilogrammes.

En effet, la colonne d'air continue qui traverse rapidement le métal liquide ne s'y décompose que par son périmètre; le bain n'est réchauffé que par les 0.21 d'oxygène provenant de l'air décomposé, tandis qu'il est refroidi par les 0.79 partie de l'azote correspondant, ajouté à tout le volume de l'air qui ne s'est point décomposé. De plus, comme le courant ne saurait atteindre les particules éloignées de la fonte, son oxygène ne brûle point l'excès de carbone contenu dans la masse.

« Il résulte de là que cette masse, devenue solide, n'est qu'un mélange d'acier et « de fonte non décarburée. »

M. Galy-Cazalat fait observer que c'est en 1861 seulement que Bessemer a obtenu l'acier que les maîtres de forges fabriquent maintenant, en suivant le système que lui Galy-Cazalat avait indiqué en 1855.

M. Jordan trouve que la communication précédente se compose de deux parties : 1° un examen des antériorités et des similitudes des procédés Galy-Cazalat, Martien et Bessemer; 2° la description d'un procédé d'affinage de la fonte par la vapeur.

Quant à la première partie, M. Jordan n'a point étudié les brevets de M. Galy-Cazalat; toutefois, il connaît ses recherches, et rend toute justice à l'ingéniosité et à la persévérance dont elles témoignent. Mais il croit que M. Galy n'est point exactement renseigné sur les antécédents du procédé Bessemer, qui n'a aucun rapport avec l'affinage à la vapeur. Il est vrai que M. Bessemer, en 1855, dans la première de ses patentes relatives au procédé qui porte aujourd'hui son nom, annonce que son invention consiste « à injecter des filets d'air, ou de vapeur, ou d'air et de vapeur, au sein et parmi les molécules d'une masse de fonte brute liquide, etc.....; » — mais dans cette même patente, il déclare que l'injection de vapeur ayant l'inconvénient de refroidir le bain, ne peut être employée qu'au commencement de l'affinage, et qu'il faut achever celui-ci par des injections d'air. Du reste, M. Jordan est d'avis que ce n'est point seulement dans des spécifications de patentes, où un inventeur, pour mieux garantir ses droits, embrasse souvent des variantes non essayées, qu'il faut

chercher l'histoire des phases d'une invention arrivée à l'état pratique. Il vaut mieux s'adresser aux faits.

Or, dans le fameux mémoire lu en 1856 à l'Association britannique, mémoire qui émut tous les métallurgistes anglais, il n'était pas question d'affinage à la vapeur. M. Bessemer connaissait les essais infructueux de M. Nasmith; et ce célèbre mécanicien, présent à la séance, approuva publiquement le système d'affinage par injection d'air. Ni dans les essais publics de Baxterhouse, en 1856, ni dans ceux des ateliers du Great-Northern railway, il ne fut question d'affinage à la vapeur. Il n'y a pas eu de tâtonnements de ce côté; les difficultés qui firent rentrer dans le silence pendant quelque temps les travaux de M. Bessemer se trouvaient surtout dans le choix des fontes à traiter et des matériaux réfractaires, et un peu, mais beaucoup moins, dans les dispositifs d'appareils. Les succès, presque immédiats, obtenus en Suède en 1859, par les usines d'Edsken, encouragèrent Bessemer à persister dans ses travaux, malgré l'avis contraire de la plupart des maîtres de forges anglais. La théorie de l'opération, d'abord très-obscure, commença à se dégager des recherches de divers métallurgistes suédois et allemands; bientôt on apprit à trouver des fontes au coke propres à l'appareil Bessemer, puis à recarburer le métal et à l'épurer en même temps par l'addition finale d'une faible proportion de fonte spéculaire, on réussit à Sheffield et à Saint-Seurin avec des fontes grises d'hématite venant du Cumberland.

A peine avait-on réussi en Suède que M. Bessemer fit, en 1859, aux *ingénieurs civils* de Londres, la communication dont le texte traduit par M. Chobrzynski se trouve dans nos mémoires, et leur soumit une foule d'échantillons. Il n'y a eu aucune réclamation pour M. Nasmith, comme on peut s'en convaincre dans les mémoires qui sont à la bibliothèque de la Société.

Quelque flatteur que serait le fait pour l'amour-propre national, M. Jordan ne croit pas qu'on puisse dire, comme M. Galy-Cazalat, que c'est avec l'argent avancé à MM. Jackson et Cie par le gouvernement français que le procédé Bessemer est devenu ce qu'il est. MM. Jackson ont certainement concouru au perfectionnement du procédé; mais il ne faut pas oublier que M. Bessemer et sa famille ont dépensé en essais, avant la réussite, une fortune de plus de 400,000 francs (voir M. de Billy *Annales des mines*), et qu'en 1861, MM. Brown et Cie, de Sheffield, fabriquaient couramment des masses considérables d'acier Bessemer, alors qu'il était à peine connu en France.

M. Jordan croit encore que M. Galy-Cazalat n'est pas bien informé en attribuant à Martien l'idée de l'emploi de la fonte spéculaire comme récarburant. L'importance du rôle des carbures de fer et de manganèse a été signalée par Heath en 1839, et l'emploi de la fonte spéculaire a été indiquée en 1856 par M. Mushet. Les patentes de M. Martien n'en disent rien.

Les fontes, nécessairement grises, qu'il faut employer pour réussir dans l'affinage Bessemer, doivent, sous peine d'insuccès, ne pas être très-manganésées : on évite au contraire une proportion de ce métal dépassant 1 à 1|2 p. 100 (au plus), et on recherche une forte teneur en silicium, afin qu'elles soient *chaudes* (2 à 2 1|2 p. 100). Les fontes à Bessemer, que l'on fabrique avec les minerais d'Algérie, sont très-peu manganésées : les minerais de Motka ne renferment que 1 à 1 1|2 pour 100 de manganèse. On serait donc dans l'erreur en attribuant à la seule présence de ce métal la réussite des opérations Bessemer, due au contraire à la présence de fortes proportions

de silicium de carbone, à l'absence de quantités notables de manganèse et de soufre, à l'absence presque totale du phosphore.

M. Jordan dit qu'il ne connaît pas M. Bessemer, et c'est uniquement dans un intérêt historique qu'il a cru utile de communiquer à la Société les informations précédentes, basées sur ses recherches et sur son expérience personnelle.

Au sujet de l'affinage à la vapeur, d'après M. Jordan, son invention remonte au-delà de 1855. M. Gueniveau, professeur de métallurgie à l'École des Mines, a parlé il y a plus de trente ans d'une sorte d'affinage à la vapeur. En 1840, M. Guest, propriétaire de la grande usine de Dowlais, imagina d'injecter de la vapeur dans le feu de finerie au sein du bain de métal. En 1854, M. Nasmith a introduit de la vapeur au fond du bain de fonte placé sur la sole d'un four à puddler, au moyen d'un ringard creux recourbé. La vapeur devait brasser le métal, puis *mise en contact avec le fer incandescent se décomposer et fournir de l'oxygène; celui-ci se combinerait avec le carbone, le soufre et les autres éléments oxydables de la fonte, et les éliminerait; l'hydrogène mis en liberté achèverait encore la désulfuration.* Le procédé Nasmith a été soumis à des essais prolongés, puis enfin abandonné, parce qu'on a reconnu que l'injection de vapeur abaissait la température du bain.

Le procédé décrit par M. Galy-Cazalat est dans son principe le même que ceux de MM. Guest et Nasmith. M. Jordan ne voit pas comment on pourra par l'affinage à la vapeur arriver à la fabrication industrielle directe de l'acier fondu. D'après la théorie qui, il est vrai, n'est pas encore complétement fixée sur ce qui se passe aux hautes températures dont il s'agit, on ne peut par une injection de vapeur décarburer le bain, sans formation considérable d'oxyde de fer, et obtenir en même temps la température nécessaire pour la fusion de l'acier. L'eau renferme, il est vrai, à poids égal, beaucoup plus d'oxygène que l'air; mais il faut dépenser, pour la décomposer, une quantité considérable de chaleur qu'on ne récupère plus complétement, de sorte que, alors même qu'à l'origine il peut se manifester de l'incandescence sur quelques points, si la fonte est très-siliceuse, la température générale du bain s'abaisse, et on obtient, non pas de l'acier fondu, mais une loupe mélangée de fonte, d'acier, de fer et d'oxyde de fer, d'après les faits qui sont venus à la connaissance de M. Jordan. L'air a le grand avantage de fournir l'oxygène, sans avoir de décomposition absorbant de la chaleur; il vaut même peut-être mieux que l'oxygène pur avec lequel les réactions seraient trop violentes. M. La Salle, dans un remarquable mémoire présenté à la Société en 1860 et inséré au *Bulletin*, a déjà fait ressortir ces considérations.

M. Galy-Cazalat répond que M. Nasmith, l'inventeur du marteau pilon, fut opposé à Bessemer dans la Société des Ingénieurs civils de Londres.

Plusieurs métallurgistes disaient, avec raison, que, depuis l'invention du four à réverbère, tous les puddleurs savent que la surface d'un bain de fonte est décarburée par l'oxygène de l'air ou de la vapeur; que le nouveau procédé pour fabriquer l'acier consiste à faire passer l'air ou la vapeur à travers la masse de fonte, ce que Nasmith a fait le premier, au moins pour la vapeur.

Les partisans de Bessemer répondirent que le procédé Nasmith a pour but de rendre moins pénible le brassage de la fonte liquide opéré par le puddleur qui promène sur la sole du bain un ringard creux, par l'extrémité duquel la vapeur s'écoule, tandis que le procédé Bessemer supprime radicalement le puddlage qui s'opère par la même action d'un courant d'air comprimé ou de vapeur saturée.

M. Galy-Cazalat démontre qu'il a eu le premier l'idée de faire passer la vapeur à

travers des bains de zinc, de plomb et de fonte, afin de produire, *sans frais*, le gaz d'hydrogène, par la plus-value du blanc de zinc, de l'oxyde de plomb, et notamment de l'acier.

M. Caly-Cazalat dit qu'on admet généralement que neuf kilogrammes de vapeur qui possèdent, comme on le sait, 630 calories chacun, apportent dans le bain 5,670 calories. Par conséquent, leur décomposition doit abaisser la fonte de 34,400 — 5,670 = 28,730 unités de chaleur.

D'un autre côté, calculant l'effet produit par les huit kilogrammes d'oxygène provenant de la vapeur et qui doivent se combiner avec le carbone contenu dans la fonte :

On sait qu'un kilogramme de carbone exige, pour être brûlé, 2.5 kilogrammes d'oxygène qui dégagent, en nombre rond, 8,000 calories; donc 8 kilogrammes d'oxygène doivent brûler $\frac{8}{2.5} = 3^{k}.2$ de carbone en dégageant 25,000 calories.

Il suit de là que, pour 9 kilogrammes de vapeur, il y aurait un refroidissement de 4,130 calories, conséquence directement contraire à toutes ses expériences qui démontrent que, pendant les dix premières minutes de son écoulement, la vapeur surchauffée élève la température du bain du cerise clair, qui est à 1,000 degrés, au blanc éblouissant qui correspond à la température de 1,500 degrés. Cette fausse théorie, qui semble stéréotypée dans la mémoire de nos plus savants métallurgistes, a fait perdre, depuis dix ans, plusieurs millions à nos principaux maîtres de forges

M. Galy-Cazalat croit qu'il est temps de la rectifier par la théorie vraie, fondée sur l'expérience et sur les principes suivants de physique et de chimie :

1° La surface d'un bain de fonte est décarburée par le contact d'un oxyde de fer;

2° Un kilogramme d'oxygène qui se combine avec du fer en le protocarburant développe 5,000 calories;

3° Les fontes que l'on convertit en acier fondu contiennent environ 5 p. 100 de carbone combiné ou allié avec le fer.

Quand la vapeur *surchauffée* traverse un bain de fonte, elle s'y décompose en 8 parties d'oxygène et 1 d'hydrogène; chaque kilog. d'oxygène s'unit d'abord au fer, en produisant 5,000 calories. Les huit kilog. de la vapeur décomposée développent 40,000 calories, tandis que la séparation de l'oxygène et de l'hydrogène n'a refroidi le bain que de 28,730 unités. Le réchauffement est donc mesuré par 11,270 calories qui sont capables d'élever chaque kilog. de fer de 11,270 × 3,6 = 40,572 degrés, ou bien, 1,000 kilogrammes de fer d'environ 40 degrés. Enfin, le protoxyde de fer contenant 8 kilogrammes d'oxygène, se trouvant en contact avec le carbone libre contenu dans la fonte, doit brûler 3,5 kilog. de carbone produisant 28,000 calories; si l'on se rappelle qu'aux températures très-hautes le calorique tend à séparer l'oxygène du fer, on admettra que le refroidissement dû à cette séparation est beaucoup moindre que le réchauffement mesuré par 28,000 calories.

M. Brull dit qu'il a suivi les premières expériences de M. Galy-Cazalat à la fonderie impériale de Ruelle. Il a eu occasion de faire à ce propos le calcul du nombre de calories enlevées au bain de fonte par les décompositions et développées par les combinaisons, et ce calcul basé sur l'analyse des fontes employées a généralement donné un gain de chaleur.

De plus, les expériences, malgré divers défauts de détail dans les appareils qui en ont empêché le succès, ont permis de constater que le bain de fonte ne se refroidissait

pas et restait liquide, après le passage d'un courant de vapeur surchauffée. Les séries ultérieures d'expériences ont confirmé ce résultat, mais elles n'ont pu fournir un acier de qualité constante.

M. Brull fait remarquer que l'ordre des phénomènes de combinaison et de décomposition des oxydes n'influe pas sur le résultat final. Il suffit de considérer les divers éléments de la fonte qui sont brûlés et qui se séparent du métal sous forme d'oxydes et de silicates, pour pouvoir calculer le nombre de calories développées sans introduire d'hypothèses sur la manière dont se forment les composés définitifs.

M. Deprez fait observer que le chiffre de 34,000 calories dégagées par la combinaison de 1 kilogramme d'hydrogène avec 8 kilogrammes d'oxygène, suppose que les produits de la combustion sont ramenés à l'état d'*eau à* 0°. Or, dans les expériences citées par M. Galy-Cazalat, la vapeur d'eau qu'il fallait décomposer était à la pression de 2 atmosphères et à la température de 600°; elle contenait donc par kilogramme une quantité de chaleur qui, d'après les formules empiriques de M. Regnault, était égale à $606.5 + 0.305 \times 120 + (600 - 120) \times 0.48 = 873$ calories.

La quantité de chaleur contenue dans 9 kilogr. était $873 \times 9 = 7857$ calories. Il fallait donc fournir à ces 9 kilogr. d'eau pour les décomposer, une quantité de chaleur égale à $34400 - 7857 = 26543$ calories. Ce qui fait par kilogr. d'oxygène $\frac{26543}{8} = 3318$.

D'après les expériences de M. Despretz, dans l'oxydation du fer, chaque kilogramme d'oxygène développe 5325 calories; il y a donc, en définitive, un gain de chaleur égal à $5325 - 3318 = 2007$, soit 2000 calories par kilogramme d'oxygène.

M. Lencauchez répondant à l'avis de M. Galy-Cazalat, que l'on peut affiner la fonte par un jet de vapeur, croit, contrairement à une opinion généralement répandue, que l'injection de la vapeur d'eau dans un bain de fusion, à une température de 10 à 20° au-dessus de celle de vaporisation correspondant à une tension déterminée, sur les bases d'introduction dans ce bain, ne donne pas lieu à un abaissement de température. Loin de là, celle-ci s'élève considérablement.

La quantité d'oxygène fournie, au bain de fusion, étant beaucoup plus grande que dans le cas de l'injection de l'air atmosphérique, l'affinage, ou mieux l'oxydation du métal se produit avec une très-grande rapidité.

L'hydrogène mis en liberté par la décomposition de la vapeur d'eau ne peut, en aussi peu de temps, réduire l'oxyde en excès, vu que celui-ci se trouve répandu dans une masse très-considérable de métal en fusion, protégeant la molécule d'oxyde contre l'action réductrice du gaz hydrogène.

Pour la même raison, l'hydrogène à l'état naissant est sans action sur les métalloïdes dont la totalité (*soufre, phosphore, arsenic et silicium*) ne dépasse souvent pas plus de 1 pour 100 dans la fonte à traiter.

Si l'on prolonge l'injection de la vapeur, l'oxyde de fer attaque les parois de l'appareil de fusion pour former des silicates multiples, et l'on n'obtient ni fer ni acier.

M. Jordan dit qu'il répondra dans la prochaine séance aux calculs de M. Galy pour justifier les maîtres de forges et les métallurgistes français.

M. le Président fait remarquer, avant de clore la séance, que cette discussion est restée purement technique, que M. Galy-Cazalat même avait présenté simplement l'énoncé des faits et un historique, omettant souvent son nom à propos de certaines

recherches. D'après son impression personnelle, M. le Président pense, que le jour où l'on fera l'histoire exacte de l'acier et des progrès qui ont été réalisés depuis quelques temps dans cette fabrication, il sera impossible de ne pas mentionner M. Galy-Cazalat comme l'un des promoteurs de ce grand mouvement dans les industries métallurgiques.

MM. Bethouart, Brault, Bouquet, Fayol, Imber, Jeanson et Theurkauff ont été reçus membres sociétaires, et M. Garnier membre associé.

Séance du 21 Mai 1869.

Le procès-verbal de la séance du 7 mai est adopté.

M. Love demande à répondre quelques mots à ce qui a été dit à la dernière séance, au sujet des voitures à deux étages.

M. le Président fait observer que cette question n'étant pas à l'ordre du jour, il invite M. Love à vouloir bien remettre ses observations à la prochaine séance.

M. le Président annonce que MM. Brault et Claparède, membres de la Société, viennent d'être nommés chevaliers de la Légion d'honneur.

M. le Président attire l'attention de la Société sur les procès-verbaux de la Société des Ingénieurs civils de Londres, que notre Société a reçus, et qui renferment plusieurs documents intéressants, notamment sur le nouvel édifice de la Société des Ingénieurs civils de Londres, sur l'enquête au sujet des établissements d'instruction, destinés à former des ingénieurs, sur divers systèmes de fondations en terrains difficiles, sur les moyens de mesurer le pouvoir éclairant du gaz, etc. Il prie M. Brüll de vouloir bien se charger de l'analyse de ces documents.

M. Banderali offre à la Société, au nom du Comte de Paris, un exemplaire de son ouvrage sur les Associations ouvrières en Angleterre, dites *Trades-Unions*.

La question spéciale que traite cet ouvrage a paru à M. Banderali très-intéressante pour tous ceux qui, comme ingénieurs, industriels, chefs d'entreprise ou de chantiers, sont en relations continuelles avec la classe ouvrière.

M. Banderali indique rapidement le but de cette étude consciencieuse et scrupuleusement impartiale, et les sources auxquelles l'auteur en a puisé les éléments.

Les associations, dites *Trades-unions*, ne sont ni les sociétés coopératives de production, dont nous avons quelques exemples en France, ni les remarquables banques de crédit populaire répandues par M. Schultze-Delitscht en Allemagne, ni même les sociétés coopératives de consommation, très-développées en Angleterre, et qui associent le consommateur aux profits du marchand au détail.

Il est question ici des *ligues de métiers* qui sont, à vrai dire, les associations ouvrières les plus puissantes et les plus difficiles à manier dans un grand pays industriel.

Nées au milieu des luttes des grèves, elle ont eu comme but unique, à l'origine, le soutien des coalitions d'ouvriers contre les patrons; depuis elles sont devenues en même temps sociétés de secours mutuels; mais elles n'en sont pas moins et avant tout des caisses permanentes de chômage, largement approvisionnées, comme vous pouvez en juger. Les *Trades-Unions* comptent dans leurs rangs 800,000 ouvriers; elles disposent de budgets annuels, obtenus par cotisations, dont la somme totale peut atteindre 50 millions de francs. En présence de pareils nombres, vous reconnaîtrez qu'il est nécessaire de se familiariser, pour ainsi dire, et de compter avec une puissance aussi redoutable. Bien dirigée et bien connue, elle cesse d'être dangereuse, et doit donner une source de richesses fécondes pour la société toute entière. Le but de ce livre est précisément de retracer l'histoire des développements de ces Unions, et de nous montrer comment, en se transformant peu à peu sous diverses influences, elles peuvent devenir des institutions vraiment productives.

Dans le premier chapitre, l'auteur entrant au cœur de son sujet, prend soin de nous indiquer quel a été le guide de ces études. Il déroule le tableau des crimes déplorables qui ensanglantèrent la corporation des fabricants de limes de Sheffield en 1866, et celle des briquetiers de Manchester à la même époque.

Le gouvernement anglais et l'opinion publique s'émurent de l'audace et de l'impunité des coupables que la justice ne put découvrir, mais dont on accusa, en dépit de leurs protestations, les Unions d'être les complices. A la même époque, les Unions inquiètes de n'avoir pu faire condamner un caissier infidèle (parce que la loi ne leur reconnaissait pas de droits civils) voulurent faire régulariser leur situation; et, d'un commun accord, il y a deux ans, une commission composée d'hommes éminents de tous les partis, fut chargée d'étudier l'organisation des *Trades-Unions*. Ce tribunal, armé de pouvoirs illimités, appela à sa barre un nombre considérable de témoins, ouvriers ou patrons, et tint ainsi quarante-huit séances, dont il fit paraître chaque mois les comptes rendus. — Dix volumes in-folio ont été publiés ainsi contenant, sous forme de questionnaire, en 20,000 articles, tous les éléments de la vaste enquête que la commission était chargée de mener à bonne fin.

Elle réussit en effet si bien dans l'accomplissement de sa tâche, avec l'aide de deux sous-commissions, siégeant à Sheffield et à Manchester, qu'elle découvrit les véritables auteurs des crimes de 1866; les coupables ou plutôt les instigateurs n'étaient autres que les secrétaires des Unions qui avaient protesté si haut contre les soupçons. Elle calma les alarmes de l'opinion désormais éclairée par la publication des révélations les plus inattendues, sur le mécanisme de ces associations, et sur le déplorable usage qu'elles avaient fait de leur puissance.

L'examen de la commission a eu pour objet les quatre principales industries :

Le bâtiment;
La métallurgie du fer;
Les houillères;
Les constructions navales et les machines.

Les recherches portèrent encore sur la solvabilité des Unions, les grèves des verriers, des tailleurs et des typographes....

Ce sont là aussi les industries que l'auteur a étudiées dans son ouvrage. Dans les deux derniers chapitres qu'il intitule : *Remèdes aux grèves et l'Avenir des Unions*, il définit bien le but social de son œuvre, et résume les réflexions qu'a fait naître chez lui l'étude approfondie d'un sujet aussi vaste qu'intéressant.

M. Banderali, en indiquant l'objet et le but de cette étude, désirait faire connaître les sources auxquelles l'auteur en a puisé les éléments : il ne s'est pas contenté d'étudier les publications spéciales, mais il a visité lui-même les plus grands établissements industriels et les mines les plus importantes du nouveau et de l'ancien monde. Si c'est l'œuvre d'un économiste familiarisé avec les questions sociales, c'est donc aussi véritablement l'œuvre d'un ingénieur. C'est à ce double titre que ce livre se recommande à toute l'attention des membres de la Société.

M. le Président donne la parole à M. Galy-Cazalat, pour continuer sa communication sur l'historique de la fabrication de l'acier fondu.

M. Galy-Cazalat dit que depuis dix ans on oppose à la fabrication de l'acier, au moyen d'un courant de vapeur surchauffée, deux principes qu'on a mal appliqués. Quand 1 kil. d'hydrogène se combine à 8 kil. d'oxygène, il se produit 9 kil. de vapeur d'eau, avec dégagement de 34,402 calories. Réciproquement, si on décompose 9 kil. d'eau en leurs éléments, il se produit une absorption de 34,462 calories. On a conclu que la vapeur en se décomposant refroidit le bain de fonte qu'elle traverse. Mais il faut tenir compte de l'union de l'oxygène avec le carbone, qui produit un réchauffement de 25,000 calories insuffisant, dit-on, pour obtenir l'acier fondu.

M. Galy-Cazalat prétend que l'expérience ne confirme pas ce raisonnement, mais que si on fait passer dans de la fonte prise à 1200° un courant de vapeur sèche, on la porte en peu de temps au blanc éblouissant.

La vraie théorie, selon lui, est celle-ci :

L'oxygène a plus d'affinité pour le fer que pour le carbone. Comme la fonte contient seize fois plus de fer que de carbone, c'est avec le fer que se combine d'abord l'oxygène, et il y a production d'une chaleur considérable, bien plus grande qu'avec l'air, qui contient quatre fois moins d'oxygène que la vapeur, à poids égal.

M. Galy-Cazalat rappelle les brevets qu'il a pris en 1855 et 1858, pour décarburer la fonte par des courants de vapeur surchauffée. Pour avoir une production constante d'acier, on oxyde ainsi le fer d'abord, puis on le recarbure partiellement par une addition de fonte spéculaire fondue dans des creusets placés au-dessus de la sole du four à réverbère, et que l'on débouche après le puddlage à la vapeur.

Dans la coulée des grandes masses d'acier, il se présente toujours des soufflures; pour les diminuer on martèle les lingots, ce qui oblige, pour les canons par exemple, à faire d'abord un tube, sur lequel on rapporte des frettes, avec les anses et les tourillons. Les opérations nécessitées par tous ces travaux font ressortir la tonne à 4,500 fr.

M. Galy-Cazalat a indiqué un moyen pour comprimer l'acier fondu dans le moule même, en fermant la masselotte par un chapeau métallique sous lequel on introduit de la poudre sans soufre au moyen d'un tube. Longtemps après, M. Whitworth a imaginé de comprimer l'acier à la presse hydraulique, mais le canon ainsi exécuté éclata, et des soufflures étaient visibles dans tous les éclats.

Il rappelle encore l'invention qu'il a faite d'appareils de sûreté pour les chaudières à vapeur, avec bouchon fusible, mais n'ayant pas l'inconvénient d'éteindre le foyer, invention dont on n'a pas tiré parti, quoique depuis trente ans elle soit dans le domaine public, et qu'elle ait obtenu deux médailles d'or : l'une de l'Institut, l'autre de la Société d'encouragement.

Il donne encore quelques détails sur un procédé de fabrication simultanée de fer

et d'acier au moyen des minerais renfermés dans les sables volcaniques de la Réunion, de Naples, de la Nouvelle-Zélande.

Ce minerai, sesquioxyde de fer titanique manganésifère contient :

80 pour 100 de peroxyde de fer;

10 à 12 pour 100 d'acide titanique;

6 pour 100 de silice, d'alumine et de chaux. Il a été longtemps réputé infusible.

50 kil. de ce minerai, fondus au creuset de graphite, ont fourni 27 kilogrammes d'acier, dont M. Galy-Cazalat présente des échantillons, et qui a été reconnu supérieur à celui qu'on paye jusqu'à 1,500 fr. la tonne.

Ce minerai est coûteux à cause de la difficulté de le séparer des sables qui le renferment en faible proportion. Cette séparation se fait par des lavages grossiers, fournissant du sable à 20 pour 100 de minerai après première opération, et à 60 p. 100 après cinq ou six lavages. On sèche et on emploie des aimants pour séparer le fer titané, mais on n'a encore que 80 pour 100 de minerai dans le sable. M. Galy-Cazalat est parvenu à obtenir ce minerai entièrement pur, et propose pour le traiter un four à réverbère, dont la voûte est percée de dix trous, espacés sur deux lignes. Par ces trous on charge des gueuses de fonte, et quand la fusion est obtenue, on descend par ces mêmes trous dans le bain liquide des tubes en tôle, fermés à la partie inférieure, et enduits d'un torchis extrêmement réfractaire. Ces creusets sont chargés de minerai de fer titané. Il ne fond pas à la température du four, mais si on vient à faire passer dans le bain de fonte un courant d'air et de vapeur sèche, le bain est brassé et l'oxygène de l'air et de la vapeur produit une combustion intense, d'où résulte une température énorme, et le minerai fond dans les creusets, donnant un acier limpide, aussi exempt de soufflures que les aciers au creuset de Krupp. On a de l'acier dans ces creusets, du fer dans le four à réverbère, et on recommence la même série d'opérations indéfiniment.

M. Lencauchez croit exagérées les assertions de M. Galy-Cazalat; il doute de l'influence améliorante du titané, et ne considère pas comme incomparables les échantillons d'acier produits.

Il ne croit pas que l'appareil proposé soit en état de supporter une série d'opérations produisant les températures intenses dont a parlé M. Galy-Cazalat.

Quant au procédé consistant dans l'emploi de la poudre, pour faire disparaître les soufflures, il le considère comme peu réalisable, et très-inférieur à l'emploi de la presse hydraulique fournissant des pressions de 600 atmosphères. Les aciers soufflieux sont des aciers mal préparés. En employant des bases qui absorbent l'oxyde de fer produit au sein du bain, on évite la réaction de celui-ci sur le carbone restant, et par suite la production des bulles d'oxyde de carbone. L'emploi des flux lui paraît un moyen simple et certain pour obtenir des aciers exempts de soufflures.

M. Jordan croit utile, à la suite de la discussion commencée dans la dernière séance sur la communication de M. Galy-Cazalat, d'exposer complétement la théorie du chauffage des bains de fonte par combustions intermoléculaires dans certains systèmes d'affinage, et de rectifier les opinions, selon lui erronées, qui ont été émises au sujet de l'affinage à la vapeur. Il regarde aussi comme son devoir de défendre les maîtres de forges français contre l'accusation d'avoir sacrifié plusieurs millions à une fausse théorie. Il ne reviendra pas sur les questions historiques soulevées à la dernière séance : il n'a pris la parole à leur sujet que parce que M. Bes-

semer n'était pas représenté, et parce qu'il croit connaître exactement les antécédents du procédé Bessemer pour les avoir étudiés consciencieusement et impartialement.

M. Jordan lit une note relative à l'affinage par l'air, par la vapeur et par l'oxygène, en étudiant, au point de vue calorifique, les procédés Bessemer, Galy-Cazalat et Heaton. Voici ce qui a rapport à l'affinage à la vapeur :

Considérons un bain de 1000 kil. de fonte grise liquide, porté à 1400° et contenant 1000 (1200 × 0,17 + 46 + 200 × 0,21) = 293,000 calories [1]; il faudra 210 calories pour faire varier la température de 1°, et le départ de 42,000 calories ramènera la fonte à son point de fusion. Examinons successivement la combustion du fer, du carbone et du silicium par la vapeur.

Combustion du fer. — Pour chaque centième (10 kil.) de fer brûlé, il faudra $\frac{10}{3.5} = 2^k.857$ d'oxygène qui produiront $12^k.857$ d'oxyde de fer, en développant d'après Dulong, 2.857 × 4327 [2] = 12362 calories. L'oxyde de fer formé, dont la capacité calorifique (0.17) est notablement plus considérable que celle du fer (0.11) absorbera, au moins, pour se mettre à la température du bain :

$$(12.857 \times 0.17 - 10 \times 0.11)\,1400 = 1520 \text{ calories.}$$

Il ne restera donc de disponible par la combustion des 10 kil. de fer que 10,840 calories.

Mais pour avoir $2^k.857$ d'oxygène, il faudra $3^k.214$ de vapeur d'eau contenant $0^k.357$ d'hydrogène. Cette vapeur, supposée sèche et à 100°, absorbera pour se décomposer 29512 × 0.357 = 10538 calories; de plus l'hydrogène, en se dégageant après s'être chauffé de 1300°, emportera encore 0.357 × 3.40 × 1300 = 1578 calories; la perte totale sera donc 12116 calories.

Le gain étant comme plus haut 10840 calories, on voit que le bain perdra finalement 1276 calories par chaque centième de fer brûlé par la vapeur. On ne peut lui rendre cette chaleur en surchauffant les $3^k.214$ de vapeur, puisqu'il faudrait (la capacité calorifique de la vapeur étant 0.475) qu'ils fussent portés à près de 850°, et M. Jordan ne croit pas qu'on surchauffe pratiquement la vapeur à 850°, pas plus qu'à 600, comme il est dit au procès-verbal de la dernière séance.

La combustion du manganèse donne les mêmes résultats que celle du fer.

1. D'après les physiciens, les températures de fusion de diverses fontes sont : 1050° pour la fonte blanche miroitante; 1200° pour la fonte grise graphiteuse; 1250° pour la fonte grise manganésée.

Les capacités calorifiques sont :

0.109 pour le fer, entre 0° et 100°; 0,125 pour le fer, entre 0° et 350°; 0.127 pour la fonte blanche peu carburée; 0.129 pour la fonte blanche très-carburée; 0.130 pour la fonte grise ordinaire, entre 0° et 200°; 0,17 pour la même fonte, entre 0° et 1000°; 0.21 pour la même fonte liquide.

La chaleur latente de fusion de la fonte grise ordinaire est 46 calories.

2. On adopte le chiffre trouvé par Dulong, et non celui de Despretz, parce que les expériences de Dulong sont plus récentes et plus précises que celles de Despretz.

Combustion du carbone. — Pour chaque 10 kil. de carbone à brûler, il faudra 13k.333 d'oxygène pour produire 23k.333 d'oxyde de carbone.

La combustion sera directe, ou indirecte, c'est-à-dire effectuée par l'intervention de l'oxyde de fer ; mais, comme l'a fait remarquer M. Brull, la quantité de chaleur produite sera toujours celle qui correspond à la combustion du carbone en oxyde de carbone. Le résultat calorifique de la combustion sera $10 \times 2473 = 24730$ calories (et non 8000 calories par kilog., comme le dit le procès-verbal) ; et l'oxyde de carbone provenant de 10 kil. de carbone chauffés à 1400°, absorbera en se dégageant une quantité de chaleur égale à $(23.333 \times 0.2479 - 10 \times 0.241) 1400 = 4718$ calories. Le gain de chaleur pour le bain sera seulement $24730 - 4718 = 20012$ calories.

Mais il faudra pour avoir 13k.333 d'oxygène, 15k de vapeur et 1k.667 d'hydrogène. La décomposition de cette vapeur absorbera $1.667 \times 29512 = 49187$ calories ; l'hydrogène en se dégageant emportera encore $1.667 \times 3.40 \times 1300 = 7367$ calories ; la perte totale de chaleur sera donc $49187 + 7367 = 56554$ calories.

La perte définitive pour le bain sera donc $56554 - 20012 = 36542$ calories.

Combustion du silicium. — Pour chaque 10 kil. de silicium il faudra $10 \times \frac{25}{21.5} = 11$k.16 d'oxygène, qui formeront 21k.16 d'acide silicique en développant 80000 calories, si l'on admet que la puissance calorifique du silicium est égale à celle du carbone complétement brûlé. L'acide silicique, à cause de sa capacité calorifique différente de celle du silicium, absorbera une quantité de chaleur à peu près égale à celle nécessaire pour amener les 11k.16 d'oxygène à la température du bain, c'est-à-dire à $11.16 \times 0.218 \times 1300 = 3160$ calories. Le bain gagnera donc 76840 calories. Mais les 11k.16 d'oxygène ne s'obtiendront que par la décomposition de 12k.555 de vapeur, qui mettront en liberté 1k.395 d'hydrogène. La chaleur absorbée par la décomposition étant $1.395 \times 29512 = 41169$ calories, et celle emportée par l'hydrogène $1.395 \times 3.40 \times 1300 = 6166$ calories, la perte totale pour le bain sera de 47335 calories. Le gain définitif sera donc

$$76840 - 47335 = 29505 \text{ calories.}$$

Affinage par la vapeur. — Appliquons maintenant les données précédentes au chauffage du bain de 1000 kil. de fonte, dont nous supposerons la composition semblable à celle d'une des bonnes fontes Bessemer, fabriquées par les usines de Terrenoire, Saint-Louis, Givors, etc.

1000 kil. de fonte contiendront : 42k.50 de carbone total ; 20 kil. de silicium ; 937k.50 de fer et de manganèse.

Supposons qu'on opère, comme dans la réalité, en décarburant complétement pour recarburer ensuite. Le déchet étant 15 p. 100, on obtiendra 850 kil. de fer en brûlant 87k.50 de fer et de manganèse.

En faisant arriver dans le bain, renfermé dans un vase séparé de toute source extérieure de chaleur, des courants très-divisés de vapeur d'eau sèche, les gains et pertes de chaleur seront :

		Gains.	Pertes.
Combustion de 20 kil. silicium : 2	× 29505	59010 calories.	
Combustion de 42k.50 carbone : 4.25	× 36542		155303 calories.
Combustion de 87k.50 fer, etc. : 8.75	× 1276		11165
		59010	166468

Solde en perte : 107458 calories.

La capacité calorifique du fer fondu étant environ 0.16, on voit que la température du bain s'abaissera de plus de 650°, sans même tenir compte du refroidissement externe du vase; on n'obtiendra qu'une masse plus ou moins pâteuse de fer mélangé d'oxyde et de silicate de fer. Il est vrai que le chiffre de 107,458 calories ci-dessus est probablement exagéré, parce que l'hydrogène et l'oxyde de carbone ne sortiront pas du bain à la température de 1400°; mais on peut voir par le calcul qu'en admettant même que les gaz sortent à 500 ou 600° seulement, la perte de chaleur du bain est encore de plus de 60,000 calories, toujours sans tenir compte du refroidissement externe du vase qui a une action importante.

Quand on observe une opération de cette nature, il se manifeste d'abord une élévation de température provenant de la combustion du silicium, qui se fait la première; puis après la disparition du silicium, le commencement de la décarburation abaisse la température tellement que les molécules de la masse métallique perdent beaucoup de leur mobilité; les réactions subséquentes s'exécutent mal, l'affinage ne se complète pas d'une manière homogène dans toute l'étendue de la masse. De plus, comme malgré toutes les précautions il arrive toujours un excès de vapeur, le refroidissement s'accélère encore.

L'affinage à la vapeur ne peut donc réussir dans une fonte Bessemer, non plus que dans une fonte aciéreuse ordinaire (manganésifère, très-carburée et peu siliceuse). Pour ne pas avoir un abaissement de température théorique, toujours moindre que l'abaissement réel, il faudrait une fonte peu carburée et très-siliceuse (4 p. 100 de silicium et 2 à 3 p. 100 de carbone, par exemple). Mais ces fontes sont exceptionnelles, provenant d'allures très-sèches, qu'un fourneau ne conserverait pas impunément; de plus, comme elles ne peuvent provenir que d'un minerai de richesse relativement faible, tel que les minerais des terrains secondaires et tertiaires, elles seraient presque toujours plus ou moins phosphoreuses.

On comprend maintenant pourquoi la grande usine de Dowlais, dans le Pays de Galles, après avoir essayé pendant plusieurs mois l'affinage à la vapeur, soit dans le bas-foyer, soit dans le four à puddler, y a renoncé malgré les espérances primitivement conçues par M. Guest. M. Truran, l'ingénieur de cette usine, déclare que l'injection de la vapeur refroidit la fonte. M. Nasmyth, le célèbre mécanicien, est arrivé aux mêmes conclusions. M. Percy, professeur de métallurgie à l'École des mines de Londres, qui a eu connaissance des essais de Dowlais, et de ceux de MM. Nasmyth et Parry, déclare aussi que l'affinage à la vapeur ne peut élever la température du bain métallique. Les essais faits en France infructueusement, depuis une dizaine d'années, n'ont rien produit qui soit contraire aux résultats obtenus antérieurement en Angleterre. (Voir à l'appui ce qu'en dit M. Gruner, professeur de métallurgie à l'École des Mines, dans son récent ouvrage *sur l'Acier*.)

On a espéré, dans l'affinage à la vapeur, utiliser l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau pour épurer le bain du soufre et du phosphore contenus. M. Jordan ne connaît pas d'expériences et d'analyses authentiques qui démontrent qu'il en est bien ainsi; et il doute fortement de l'efficacité de l'hydrogène pour enlever le soufre et le phosphore dissous en minime proportion dans la masse du bain. Un courant d'hydrogène passant dans un tube de porcelaine sur du soufre porté à une haute température est loin de se transformer complétement en acide sulfhydrique. Si l'on fait passer celui-ci sur du fer porté au rouge, le soufre se fixe sur le fer, comme on sait.

Quant à l'hydrogène, son affinité pour le phosphore n'est pas très-grande.

M. Jordan conclut des considérations qui précèdent, que l'affinage à la vapeur d'eau est bien inférieur à l'affinage pneumatique pour la fabrication de l'acier. Il fait remarquer le rôle important joué par le silicium dans ces affinages; le silicium est le combustible essentiel. Aussi les fabricants d'acier divisent-ils les fontes en *froides* et *chaudes*, suivant qu'elles renferment peu ou beaucoup de silicium.

M. Jordan présente deux spécimens de fontes à la Société : l'un de fonte grise à Bessemer, qualité chaude, contenant 2 à 3 pour 100 de silicium, et reconnaissable à son grain gris et étoilé, fabriquée aux hauts-fourneaux de Saint-Louis, près de Marseille, pour les aciéries d'Imphy; l'autre de fonte miroitante ou spiegeleisen, contenant 8 à 10 pour 100 de manganèse, essentiellement froide et bien reconnaissable à ses larges facettes cristallines, fabriquée aussi aux hauts-fourneaux de Saint-Louis, pour les aciéries de la Loire.

MM. Dumas et Lavallée ont été nommés à l'unanimité membres honoraires.

Séance du 4 Juin 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

Le procès-verbal de la séance du 21 mai est adopté.

M. le Président rappelle que, dans la dernière séance, la Société a nommé membres honoraires MM. Dumas et Lavallée. En réponse à cette nomination, ces messieurs ont adressé les lettres suivantes :

« Monsieur le Président et cher Collègue,

« Je vous prie de me servir d'interprète auprès de la Société des Ingénieurs civils. « J'ai reçu avec une vive reconnaissance le témoignage de bon souvenir qu'elle a « bien voulu m'adresser.

« La fondation de l'École centrale a été dans ma vie un événement important, et « j'aime à constater chaque jour les conséquences considérables que le pays en a « retirées. Tout ce qui me rattache aux anciens élèves de l'École m'est donc infi- « niment précieux.

« Leur manifestation a reçu un nouveau prix en passant par vos mains.

« Agréez, monsieur le Président et cher Collègue, l'assurance de mes sentiments « de considération et d'attachement. Dumas. »

« Monsieur le Président,

« Vous me faites l'honneur de m'informer que la Société des Ingénieurs civils a « bien voulu me nommer membre honoraire.

« J'ai consacré ma vie à la fondation d'une institution qui est devenue la pépinière

« principale des ingénieurs libres en France. Votre Société, composée d'ingénieurs « de diverses écoles, attribue à cette création un mérite dont le témoignage una- « nime et spontané excite toute ma reconnaissance.

« Veuillez, je vous prie, mon cher Président, en remerciant pour moi vos col- « lègues, leur transmettre l'expression de ce sentiment, et agréez en particulier « l'assurance de ma considération aussi distinguée qu'affectueuse. LAVALLÉE. »

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Love, pour une communication sur les voitures à deux étages.

« J'ai soulevé le premier, devant la Société, dit M. Love, la question des voitures à impériale fermée, et c'est à mon instigation que M. Robert a écrit et présenté, sur ce sujet, le mémoire lu dans la séance du 2 avril 1869.

Depuis, M. Vidard a donné à la Société le programme auquel, suivant lui, doit satisfaire toute voiture de ce genre. Je ne voudrais pas que mon silence pût faire croire que je passe condamnation sur sa théorie et les conséquences critiques qu'il en a tirées à l'égard des projets ou voitures exécutées différant, par les dimensions, de celle qu'il préconise. C'est pourquoi j'ai demandé à présenter en réponse quelques courtes observations.

Au point où en est aujourd'hui le développement du réseau français et le confortable des voitures offertes aux voyageurs, et que l'on doit considérer comme un progrès qui n'admet pas de recul sensible, je crois que l'on doit envisager et traiter comme une illusion l'idée de voir accomplir un programme comme celui qui a été exposé et analysé devant vous, dans son but et ses moyens d'exécution, et dont le but avoué consiste à remplacer par un type unique de voiture à deux étages les voitures actuelles constituant une dépense d'environ cent millions de francs.

En effet, vouloir passer sans danger sous tous les ouvrages de l'ancien comme du nouveau réseau, avec les dispositions proposées, conduit à réduire la hauteur des compartiments à environ $1^{m}.65$. En outre du cube d'air réduit que cela entraîne, ce qui n'est pas indifférent pour le bien-être du voyageur, il faut noter que pour se rendre à leur place un grand nombre d'entre eux devront se plier en deux. Si l'on peut passer sur cet inconvénient pour le premier étage, où le trajet à faire pour gagner sa place est court, il n'en est pas de même pour l'impériale. Je m'en suis rendu compte en allant voir, sur l'invitation de M. Vidard, la dernière voiture qu'il a fait construire chez MM. Chevalier et Cheilus.

Ainsi donc, l'on n'achète la faculté de passer sous tous les ouvrages et d'abaisser le centre de gravité du véhicule, qu'à la condition d'infliger aux voyageurs une double incommodité.

En résulte-t-il au moins que les nouvelles voitures pourront, sans inconvénient, s'atteler à tous les trains, et voyager partout et dans toutes les circonstances aux vitesses les plus grandes usitées?

Je ne pense pas que l'on puisse répondre affirmativement à ces deux questions :

En premier lieu, vous pouvez être assurés que si l'on intercale une voiture à impériale fermée dans un train formé en grande partie d'autres voitures, les voyageurs n'entreront dans la première qu'à la dernière extrémité ; d'où il résulte que la voiture en question voyagera le plus souvent à vide, surtout lorsque, après une première tentative faite par curiosité, on en aura constaté les inconvénients.

Quant à la grande vitesse que la voiture de M. Vidard peut prendre sans danger, il n'y a pour l'appuyer qu'une expérience citée d'une manière sommaire par l'au-

teur lui-même, et l'ingénieur prudent fera bien, à mon avis, de ne pas s'en contenter. La voiture dont il s'agit était-elle pleine ou vide? L'a-t-on essayée avec le compartiment supérieur plein seulement, comme cela se présentera le plus souvent puisqu'il est destiné aux 3es classes? J'en doute. Pour ma part, je ne me hasarderai que difficilement dans la voiture de M. Vidard, malgré l'abaissement du centre de gravité obtenu au prix que l'on sait, pour marcher avec une vitesse de 60 kilomètres à l'heure sur une ligne accidentée en plan, surtout si je savais que, pour quelques voyageurs au premier étage, il y en a une quarantaine au second. Je parle ici des circonstances ordinaires. Je ne dis rien des cas accidentels où la stabilité des voitures ordinaires est déjà très-éprouvée, comme une forte dénivellation des deux côtés de la voie, dans un commencement d'exploitation, et je passe de suite à une circonstance qui se présente régulièrement deux fois par an : *les tempêtes d'équinoxe*. Chacun de vous se souvient des communications de M. Nordling sur le renversement, à deux reprises différentes, d'un train, entre Narbonne et Perpignan, sur la voie qui longe le golfe du Lion. Le même danger est à craindre plus ou moins partout où des voies sont établies sur le bord de la mer. En outre, il doit y avoir quelquefois sur le plateau de Lannemezan, dans les Pyrénées, sur le plateau des montagnes centrales de la France, à des altitudes qui varient entre 500 et 1000 mètres, des raffales qui ne doivent pas être plus rassurantes, si j'en juge par ce que j'en ai lu et ce qui m'en a été rapporté.

Il faut donc se résigner à rayer du programme qui vous a été exposé la prétention de faire passer partout les voitures à deux étages clos, sous la forme qu'elles affectent actuellement, et de les faire marcher à toutes les vitesses connues. On ne pourrait, d'ailleurs, sans s'exposer à de justes réclamations, les employer sur de grandes artères et sur les embranchements à long parcours, où le confortable devient une condition essentielle, presque un acte d'humanité, vis-à-vis des voyageurs. On ne peut guère les leur imposer que sur des lignes nouvelles d'une faible longueur, qui ne sont possibles qu'à la condition de réaliser les plus grandes économies dans la construction et dans l'exploitation, et où la voiture à deux étages, même celle de M. Vidard, serait une amélioration sur celles précédemment en usage.

Mais, la question ramenée ainsi à ses justes proportions, on se demande pourquoi se gêner dans l'établissement d'une voiture à impériale. Dès l'instant où ces voitures ne passent plus que sous des ouvrages nouveaux qui offrent 4m.80 de hauteur libre à l'aplomb du rail extérieur, et même davantage si l'on veut, et qu'elles ne sont plus destinées à marcher à de grandes vitesses, on aurait grand tort d'attacher une importance quelconque à un programme de pure fantaisie, et de ne pas donner aux nouvelles voitures 25 et 30 centimètres de plus pour la commodité des voyageurs.

Cela est d'autant plus rationnel qu'on peut arriver à ce résultat sans élever sensiblement le centre de gravité. En effet, en ce qui concerne l'impériale, par exemple, si l'on surmonte le couloir central d'un pavillon élevé comme dans le modèle des Charentes, on comprend, au premier coup d'œil, que ce n'est pas cette disposition qui fera remonter d'une manière sensible le centre de gravité du véhicule. Il s'agit probablement ici de quelques millimètres, ce n'est pas la peine d'en parler.

Quant à l'abaissement du plancher du premier étage, il peut varier suivant les dispositions que l'on adopte. MM. Molinos et Pronnier l'ont abaissé à 0m.880, en donnant aux roues un diamètre de 0m.610. Ils auraient pu gagner quelque chose encore en adoptant la disposition connue, qui consiste à mettre les brancards de caisse au niveau des brancards du châssis. M. Vidard a emprunté au domaine public ces deux dispositions, et

y en a ajouté une troisième qui lui appartient et qui consiste en une forme particulière de la boîte à huile qui permet de rapprocher le ressort de l'axe de l'essieu. C'est la seule disposition qu'il ait le droit de revendiquer dans la voiture dite de son système, et qui, il faut bien le dire, dans son ensemble comme dans ses autres détails, constitue un système qui appartient à tout le monde.

Du reste, il y a, à cet égard, une grande différence entre les prétentions que l'on a élevées à l'origine, et celles auxquelles on se restreint aujourd'hui.

En effet : 1° « *On ne revendique plus* (page 94 du compte rendu) l'idée *des voitures* « *à deux étages*, mais seulement le modèle que l'on a décrit. »

« 2° On ne revendique pas davantage (p. 93), en particulier, aucun des moyens de « détail employés ; mais la combinaison d'ensemble à laquelle on est arrivé, et qui « seule atteint le résultat cherché (l'accomplissement du programme irrationnel « qui vient d'être examiné). »

« 3° On ne revendique non plus aucun droit sur le modèle exécuté par la Com- « pagnie des Charentes, que l'on trouve différer par ses points fondamentaux, par « son but et son résultat autant que par les moyens d'exécution. »

Toutefois, à la suite de cette dernière déclaration, on a récapitulé l'ensemble des moyens, au nombre de cinq, qui ont permis, croit-on, de donner à la voiture *dite Vidard* son cachet particulier. Je n'ai pas besoin de faire ressortir la contradiction qui existe entre cette déclaration et les précédentes, l'avant-dernière surtout. Il n'échappe non plus à personne que, dans les cinq moyens cités, il y en a quatre dans le domaine public. Je demanderai, à ce propos, si, lorsqu'un détail de construction est acquis à ce domaine comme ayant été employé, sans être breveté, dans l'un quelconque des véhicules de chemins de fer, il n'est pas acquis pour tous les *véhicules connus*. Il me semble que poser la question c'est la résoudre. Que diraient nos ingénieurs du matériel si, après avoir vu l'un d'eux adopter des roues pleines et des filets dans les voitures de première classe, un collègue de cette Société s'avisait de prendre un brevet pour l'application de ces deux éléments aux voitures de 2e et 3e classe? Ils crieraient au pillage et contesteraient la valeur d'un tel brevet, et ils auraient raison. Toute la question se réduit, dès lors, à ceci. La voiture à *impériale fermée* du type revendiqué faisait-elle, avant 1863, partie du matériel des chemins de fer[1]?

Dès 1862, MM. Molinos et Pronnier avaient assuré ce bénéfice à la profession par la voiture du chemin de fer de la Croix-Rousse à Lyon. On peut donc, en conservant ce type, y ajouter, pour son application à d'autres lignes, les détails de construction acquis à tous les véhicules de chemins de fer, et l'on fera alors une voiture à impériale fermée qui ne différera, à très-peu de chose près, de la voiture dite Vidard, que par les dimensions. Mais les dimensions d'un véhicule sont-elles des choses brevetables? A voir la manière dont on s'est rabattu sur ce terrain dans la séance du 7 mai, il semblerait qu'on le considère ainsi. Je ne perdrai ni mon temps ni le vôtre à discuter cette singulière question. Je range une pareille prétention, comme

1. Il y a cependant quelque intérêt à faire connaître aux ingénieurs que, parmi les dessins remis à la Société par M. Ribail, il s'en trouve un portant le n° 9, qui établit que dès 1856 la Compagnie de l'Ouest, à laquelle appartient M. Vidard, avait fait une étude presque identique au modèle de voiture revendiqué par ce dernier.

celle de supplanter tous les véhicules confortables de nos chemins de fer par une voiture unique à deux étages relativement incommodes, au nombre de ces affections qui ne présentent aucun danger, et dont, par conséquent, nous n'avons pas davantage à nous préoccuper.

Je ne dirai plus qu'un mot pour terminer. La note de M. Vidard a pu faire supposer que la communication de M. Robert avait pour objet de revendiquer, à mon profit, la priorité de la voiture à impériale fermée. Or, il doit être suffisamment clair pour tous que le but de cette communication est le même que celui poursuivi dans les observations qui précèdent : c'est de revendiquer, pour la profession tout entière, un système de véhicules qu'un membre de cette Société a cru de bonne foi, sans doute, pouvoir s'approprier. J'espère que j'y aurai réussi ; c'est mon seul but dans toute cette affaire.

M. le Président donne ensuite la parole à M. Galy-Cazalat.

M. Galy-Cazalat commence par rappeler qu'il a prouvé dans la séance du 7 mai, par des documents authentiques, que les procédés à l'aide desquels on opère la conversion directe de la fonte en acier, soit par des courants d'air comprimé, soit par des courants de vapeur surchauffée, sont d'origine française.

Le premier de ces documents est un brevet pris le 13 juin 1855, suivi d'une patente prise à Londres le 28 juin suivant. Le mémoire descriptif et les dessins de ce brevet constatent qu'une masse de fonte mise en fusion dans un cubilot y est décarburée progressivement et convertie en acier :

1° Par huit courants d'*air chaud comprimé* s'écoulant à travers le bain de fonte par huit tuyaux ménagés dans le creuset du cubilot maintenu à la température initiale d'environ douze cents degrés ;

2° Par huit courants de vapeur surchauffée s'écoulant par les mêmes huit tuyaux maintenus à une température moyenne entre douze cents et quatorze cents degrés.

Dans ce brevet, l'inventeur français s'est réservé textuellement le privilége de fabriquer l'acier par la vapeur surchauffée que le bain métallique décompose en oxygène et hydrogène. L'oxygène convertit la fonte en acier fondu, dont la plus-value couvre et au delà tous les frais de fabrication de l'hydrogène qui est recueilli, *sans frais*, dans un gazomètre.

Le deuxième document consiste en un brevet pris le 15 février 1858, sous le titre de « fabrication de fer épuré et de l'acier fondu par des courants d'*air comprimé* ou de *vapeur surchauffée*, en faisant passer ces courants à travers une masse de fonte mise en fusion dans un four à réverbère. »

M. Galy-Cazalat passe ensuite en revue les textes des patentes prises par M. Bessemer, et il fait remarquer que, dans sa patente du 4 janvier 1856, il n'est question que d'envoyer par un seul tuyau de la vapeur non surchauffée, par conséquent humide, ou de l'air comprimé.

Il ajoute que ce procédé ne peut pas permettre d'obtenir de l'acier parfaitement liquide, et qu'il faut se reporter à son brevet de 1861 pour la description du procédé exploité depuis 1862 sous le nom de procédé Bessemer.

M. Galy-Cazalat fait remarquer que M. Bessemer a fait remonter son second brevet au 4 janvier 1856, en déclarant, dans les traités qu'il a faits avec nos maîtres de forges, que sa patente devait tomber dans le domaine public le 4 janvier 1870.

Il ajoute que le seul argument en faveur de Bessemer, que présentent les partisans de son procédé, consiste à prétendre, contrairement à l'expérience et à la science positive, que la vapeur, même surchauffée, ne saurait produire de l'acier fondu, par la raison qu'elle refroidit la fonte, qui, pour être convertie en acier, a besoin de s'élever à la température de 1 400 degrés.

Il fait remarquer que les expériences de Ruelle, auxquelles M. Brüll a eu l'occasion d'assister, ainsi que l'opinion de deux membres de cette Société, MM. Deprez et Lencauchez, conduisent à des conclusions contraires à celles que M. Jordan a présentées et développées d'une manière détaillée dans la séance du 21 mai dernier.

M. Galy-Cazalat demande la permission de traiter sérieusement la théorie vraie de la transformation de la fonte en acier.

Il prend pour bases de ses calculs la composition suivante d'une fonte de Suède d'après Berzélius :

Fer.	90.80
Manganèse.	4.57
Carbone	3.93
Silicium	0.50
Magnésium.	0.20
	100.00

Avant d'entrer dans les détails des calculs, M. Galy-Cazalat examine le rôle joué par chacun des éléments de la fonte pendant sa conversion en acier.

Le *fer* est l'élément le plus influent dans la conversion de la fonte en acier; c'est sa combinaison avec l'oxygène qui élève le bain de 1 200 à 1 400 degrés, température qui favorise les combustions du carbone, du silicium et du magnésium. Si le fer n'absorbait point, tout d'abord, l'oxygène de l'air qui traverse la fonte liquide, les quatre-vingt-dix centièmes de cet air ne se décomposeraient pas, et en s'échappant enlèveraient au bain de fonte une énorme quantité de chaleur qu'il est facile de calculer.

Le *manganèse* facilite énormément la production de l'acier, parce qu'il se trouve en contact immédiat avec le carbone, le silicium et le magnésium disséminés dans la masse du bain et auxquels son oxyde cède facilement son oxygène à la température de 1400 degrés.

M. Galy-Cazalat n'est pas de l'avis de M. Jordan en ce qui concerne la proportion de manganèse que peut contenir la fonte que l'on veut décarburer.

Il cite les aciéristes de Sheffield qui emploient de la fonte de Suède contenant plus de 4 p. 100 de manganèse et qui obtiennent des aciers de très-bonne qualité.

Il ne peut pas admettre non plus que tout le carbone s'échappe à l'état d'oxyde de carbone, et il admet dans son calcul qu'il doit s'échapper :

30 p. 100 de	CO
70 p. 100 de	CO^2

Calorique dégagé par

Carbone se transformant en CO et CO^2	1.179 (2402)+2.75 (8000) =	24 840 cal.
Silicium en acide silicique.	0.50 (5000) =	2 500
Magnésium en magnésie.	0.20 (5000) =	1 000
Total.		28 341

Calorique dégagé par un kilogramme de chacun des éléments brûlés par l'oxygène.

(CO) Carbone converti en oxyde.		2 402 cal.
(CO^2) Carbone en acide carbonique.		8 000
(SiO) Silicium en acide silicique	1.066 (5000) . . . . . =	5 330
(*Mag* O) Magnésium en magnésie	0.667 (5000) . . . . . =	3 335
(Fe O) (composition 1 fer + 0.295 oxygène)	0.295×5000 . . =	1 475

Calorique absorbé dans la combustion.

CO. Un kilogramme de carbone devient 2.33 d'oxyde, en se combinant avec 1.33 d'oxygène, provenant de 6 kil. 33 d'air qui contient 5 kil. d'azote, pour s'élever à la température du bain qui est de 1 400 degrés.

L'oxyde formé absorbe.	2.33 (0.288) 1400 =	939 calories.
L'azote absorbe.	5.00 (0.273) 1400 =	1931 —

CO^2. Un kilogramme de carbone produit 3.66 d'acide carbonique se combinant avec 2.66 d'oxygène provenant de 12 kil. 6 d'air qui contient 10 kil. d'azote.

L'acide absorbe.	3.66 (0.221) 1400 =	1132 calories.
L'azote absorbe.	10.00 (0.273) 1400 =	3822 —

SIO. Un de silicium devient 2.066 de silice en se combinant avec 1.066 d'oxygène, provenant de 5.07 d'air, composé de 1.06 d'oxygène et de 4.01 d'azote, pour s'élever à 1400 degrés.

La silice absorbe	2.066 (0.191) 1400 =	552 calories.
L'azote absorbe.	4.01 (0.273) 1400 =	1534 —

MAGO. Un kilogramme de magnésium devient 1.667 de magnésie en s'unissant avec 0.667 d'oxygène. . . . . 1.667 (0.244) 1400 = 568 calories.

Azote.	2.51 (0.273) 1400 =	959 —

La quantité totale de calorique absorbé est donc représentée par 8.356, qui, retranchée du nombre de calories dégagé 28.341; donne 9.985 pour le calorique libre.

M. Galy-Cazalat fait remarquer que le chiffre de 5 000 calories, qui a été adopté est une moyenne entre le chiffre de Dulong et ceux de Deprez.

M. Galy-Cazalat a pu en 1823, lorsqu'il était professeur de mathématiques spéciales à Perpignan, déterminer ce chiffre en brûlant, dans un appareil spécial, jusqu'à dix grammes de fer par un courant d'oxygène.

Il décrit son chalumeau à gaz oxy-hydrogène comprimé à 28 atmosphères pour le simple dégagement du gaz hydrogène produit en vase clos, à l'aide d'acide sulfurique et de zinc métallique.

C'est à l'aide de ce chalumeau qu'il a pu déterminer le nombre de calories dégagé par la combustion d'un poids connu de fer, et c'est ainsi qu'il a pu vérifier le chiffre de 5 000 qu'il a employé dans ses calculs.

En 1829, M. Galy-Cazalat fit construire un de ces appareils pour le collége de Versailles, où il existe encore, et qui servit à comprimer dans une bouteille à mercure quinze litres d'oxygène à dix atmosphères, pour brûler du fer dans un calorimètre. Ce calorimètre se composait d'un grand flacon à trois tubulures, dont les

deux extrêmes étaient fermées par des bouchons de liége, traversés chacun par un thermomètre. Après avoir rempli le flacon avec de l'eau versée par la tubulure du milieu, on y introduit un tuyau de cuivre mince fermé à sa base. Ce dernier contenait un fil de fer roulé en hélice dont l'extrémité inférieure portait un peu d'amadou, tandis que sa tige supérieure traversait hermétiquement le bouchon servant à fermer le tuyau de cuivre.

Après avoir allumé l'amadou, on remettait le bouchon, et l'on faisait arriver l'oxygène comprimé par un tube à robinet traversant le bouchon.

Quand le manomètre porté par le bouchon à vis du réservoir d'oxygène indiquait qu'une partie du fil de fer avait été brûlée par dix litres d'oxygène, on fermait le robinet, et on lisait sur les deux thermomètres la température de l'eau contenue dans le flacon qui n'avait pas eu le temps de se refroidir sensiblement pendant la durée très-courte de la combustion du fer.

M. Galy-Cazalat a trouvé ainsi expérimentalement que le nombre de calories développées par la combustion du fer brûlé par un kilogramme d'oxygène, est égal à 5000 calories.

M. Galy-Cazalat fait remarquer que le calcul, en ce qui concerne l'oxydation du fer, est le même, que l'on emploie de l'air ou que l'on emploie de la vapeur; il ajoute qu'on n'a qu'à répéter l'expérience qu'il a citée et l'on verra que la vapeur, sèche bien entendu, peut être employée avec plus d'avantages que l'air, en ce sens qu'à égalité de volume elle contient plus d'oxygène, qu'elle ne contient pas cette grande quantité de gaz inerte que contient l'air atmosphérique, et qu'enfin l'hydrogène provenant de sa décomposition enlève le soufre et autres métalloïdes qui resteraient dans la masse si l'on employait seulement l'air.

M. Galy-Cazalat se propose d'établir, dans une prochaine séance, les calculs relatifs à la décarburation de la fonte par la vapeur surchauffée.

M. le Président remercie M. Galy-Cazalat des renseignements qu'il a bien voulu apporter dans la discussion.

Les considérations qu'il vient de présenter tendent à prouver : 1° que l'oxygène de l'air ou la vapeur agissent énergiquement pour transformer le fer de la fonte en oxyde de fer, lequel réagit ensuite sur les divers éléments mis en liberté par cette première combinaison, et il y a dans ces transformations une élévation de température suffisante pour produire l'acier; 2° qu'il y a par conséquent possibilité d'employer la vapeur pour la transformation directe de la fonte en acier.

Il fait encore remarquer que la première communication de M. Galy-Cazalat se composait de deux parties; la première, relative à la fabrication de l'acier par la vapeur sèche ou l'air, a donné lieu à deux discussions intéressantes : l'une de M. Jordan, dans la séance du 21 mai; l'autre de M. Galy-Cazalat, dans cette séance.

M. le Président demande si M. Galy-Cazalat n'a aucun renseignement à communiquer sur son nouveau procédé.

M. Galy-Cazalat répond qu'une expérience sérieuse sera bientôt faite, et qu'il en communiquera les résultats.

M. le Président croit qu'en l'absence de M. Jordan, retenu par une indisposition, il paraît convenable de ne pas clore le débat. Il demande cependant si quelques membres n'ont pas d'observations à présenter immédiatement.

M. Brull a suivi avec le plus grand intérêt l'exposé si lucide et si méthodique présenté par M. Jordan ; il a eu occasion, à propos des expériences de M. Galy-Cazalat à la fonderie impériale de Ruelle, de faire autrefois ces mêmes calculs pour rechercher l'action calorifique sur un bain de fonte de courants de vapeur surchauffée. Le procédé suivi était très-analogue, sinon tout à fait semblable, à celui qu'a employé M. Jordan ; en tout cas, il ne présenterait pas avec celui-ci les différences radicales que l'on trouve dans le mode de calcul que vient de développer M. Galy-Cazalat. Mais le résultat n'était cependant pas d'accord avec celui auquel arrive M. Jordan, et l'écart provient de quelques différences dans les hypothèses.

Ainsi, dans le calcul relatif à la combustion du fer par la vapeur d'eau, M. Jordan établit la consommation d'oxygène et le nombre de calories dégagées en supposant qu'il se produira du protoxyde de fer; on peut évidemment admettre pour tout ou partie la production d'oxyde des battitures. Le nombre de calories développées par la combustion est calculé à raison de 4 327 calories par kilogramme d'oxygène. C'est le chiffre de Dulong, vérifié par MM. Fabre et Silbermann. Tout en reconnaissant que ce nombre est plus probable que le nombre de 5 325 calories trouvé par M. Deprez, il n'a pas un caractère de certitude tel qu'on ne puisse admettre comme vrai un nombre intermédiaire, comme celui que M. Galy-Cazalat a déduit de ses propres expériences. La vapeur a été supposée à la température de 100 degrés; or, on la surchauffe notablement, et il y a là encore une cause d'écart notable dans le résultat du calcul des calories. Enfin M. Jordan admet que l'hydrogène s'échappe du bain après en avoir pris la température, mais on peut bien supposer que le temps manque pour que l'équilibre s'établisse complétement.

Il suffit de légères rectifications apportées dans le sens qui vient d'être indiqué aux hypothèses servant de point de départ au calcul, pour trouver dans l'action de la vapeur surchauffée sur le fer un gain de calories, au lieu d'une perte. Tout au moins peut-on dire, et M. Brüll a l'espoir d'être en cela d'accord avec M. Jordan, que les hypothèses ne sont pas tellement certaines que l'on puisse affirmer, en dehors de toute expérience, qu'il y aura refroidissement du bain.

Quant à la première série d'essais auxquels M. Brüll a pu assister à la fonderie de Ruelle, elle date déjà de loin ; elle n'a guère laissé dans sa mémoire que l'impression d'expériences manquées par suite de vices de détails dans les appareils. Il regrette que ses souvenirs ne soient pas aussi nets qu'il le faudrait pour présenter à la Société le témoignage explicite qu'invoque M. Galy-Cazalat ; il peut dire seulement qu'il n'est pas résulté de ces essais que le passage de courants de vapeur surchauffée dans un bain de fonte dût nécessairement produire un refroidissement.

M. le Président donne la parole à M. Leygue pour la lecture de sa communication sur le poids du mètre courant des poutres à double T, d'après leurs moments de résistance.

M. Leygue rappelle d'une façon générale que le calcul des ponts exige la connaissance complète des charges maximum qui, par unité de longueur, fléchissent les poutres. Or, ces charges renferment trois éléments : le poids propre de la poutre, celui de la construction et celui de la surcharge, dont les règlements administratifs ou plutôt les conditions d'exploitation fixent l'intensité.

Le plus souvent, le premier de ces éléments est une valeur prise un peu au hasard que doit vérifier le projet définitif.

M. Leygue pense qu'il y aurait lieu de supprimer cet arbitraire, par la détermination du poids des poutres en fonction des données de la question.

Soient (p) le poids au mètre courant d'une poutre en forme de double T, (h) sa hauteur, et (μ) son moment de résistance, calculé pour une limite déterminée des efforts moléculaires.

M. Leygue démontre que, dans l'hypothèse d'une hauteur de poutre constante, le poids et le moment de résistance sont liés par la relation simple

$$(a) \qquad p = A\mu + B,$$

et que si la hauteur est prise pour variable, les constantes (A) et (B), de la droite (p) ont pour valeurs respectives, en désignant par $\left(v = \frac{h}{2}\right)$ la distance de la fibre moyenne à l'arête extrême des tables, et par (a) une constante estimée d'après un grand nombre d'applications (1500 environ) à 0.03 :

$$A - 0.0013\,\frac{v}{(v-a)^3} = 0,$$

et

$$B = -16 + 120.v.$$

La constante (A) représente les ordonnées d'une hyperbole équilatère, lorsque les hauteurs (v) sont prises pour abscisses; la constante (B) représente une droite.

La valeur générale de (p) en fonction de (μ) et de (v) doit donc s'écrire :

$$(b) \qquad p = 0.0013.\mu\,\frac{v}{(v-a)^3} + 120.v - 16.$$

M. Leygue fait remarquer que cette formule ne tient pas compte des épaisseurs de tôle minima, devant lesquelles on s'arrête en pratique, et que, par conséquent, son usage doit être limité aux poutres dont les hauteurs dépassent $0^m.40$, tandis que, d'un autre côté, le moment de résistance reste supérieur à 6000.

Reprenant l'équation générale

$$p = A\mu + B,$$

M. Leygue insiste sur ce point que les constantes ont été déterminées dans l'hypothèse de poutre en forme de double T, dont l'âme pleine avait $0^m.01$ d'épaisseur. Cependant il est utile, pour les poutres un peu hautes, d'augmenter cette dimension; d'autre part, dans les treillis, la quantité de matière est mathématiquement double de celle des âmes pleines qu'ils remplacent. La formule (b) cesse donc d'être applicable. La correction nécessaire porte tout entière sur le coefficient [B, équation (a)]; car, dans un cas comme dans l'autre, l'âme ne sert qu'à transmettre les efforts et ne donne qu'une augmentation très-faible, ou même nulle (treillis), du moment d'inertie de la section. Or, de la nature même de la question, les accroissements de (B) seront proportionnels à la hauteur des poutres pour une surépaisseur d'âme déterminée, et, toutes choses égales d'ailleurs, ils resteront constants pour des équidifférences d'épaisseur d'âme.

M. Leygue met sous les yeux des membres de la Société les courbes et les droites à l'aide desquelles les différentes questions relatives aux poids des poutres peuvent être résolues immédiatement.

Résumant ensuite les calculs des poutres reposant sur deux appuis de niveau

M. Leygue indique les résultats suivants, dans lesquels (P) représente la charge extérieure par mètre courant, (L) la longueur de la poutre, (A) et (B) les constantes de la formule (a) :

Poutres à section constante..... $\begin{cases} p = \dfrac{AL^2P + 8B}{8 - AL^2}, \\ \mu = \left[\dfrac{P + B}{8 - AL^2}\right] L^2; \end{cases}$

Poutres à sections variables, suivant les moments de flexion..... $\begin{cases} p = \dfrac{AL^2P + 10B}{10 - AL^2}, \\ \mu = 5/4\left[\dfrac{P + B}{10 - AL^2}\right] L^2; \end{cases}$

(c) Poutres à sections variables, dans l'hypothèse où l'on tient compte des rivures, couvre-joints, etc..., pour 1/4 du poids..... $p = \dfrac{AL^2P + 10B}{8 - AL^2}$.

Les dénominateurs des formules (μ) et (p) s'annulent pour certaines valeurs de (L) en sorte que les poutres, dont les moments deviennent infinis, ont également des poids infinis; il y a donc une limite de portée au delà de laquelle la construction est impossible.

Si l'on égale à zéro le dénominateur de l'égalité (c) on trouve, eu égard à la relation

$$A = \frac{0.0026}{h},$$

déduite de l'expression générale (A) dans le cas où la constante ($a = 0.03$) est négligeable devant la demi-hauteur (v) :

$$L = \sqrt{3077.h},$$

et pour $h = 9^m.00$, on a : $L = 166^m.0$.

M. Leygue, en terminant, rappelle que M. Collignon, dans son intéressant mémoire sur les poutres en treillis, avait, en effet, fixé à $161^m.00$ la portée des poutres de $9^m.00$ de hauteur.

M. Leygue fait encore observer que, dans un but de vérification, il a construit, à l'aide des formules précédentes, appliquées aux passages inférieurs, la courbe des poids au mètre carré de surface métallique couverte, et il a pu constater la plus grande analogie avec la même courbe déduite des poids inscrits aux procès-verbaux de réception d'un grand nombre de ponts construits sur le réseau du Nord.

M. le Président remercie M. Leygue de son intéressante communication qui sera insérée dans l'un des Bulletins trimestriels.

MM. Brunt, Corpet, Chalain, Glaser, Goupillon, Juncker et Rueff ont été reçus membres sociétaires, et M. Geneste, membre associé.

Séance du 18 Juin 1869.

Présidence de M. Alcan.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est adopté.

M. Vidard demande la parole pour répondre à la note lue par M. Love dans la dernière séance.

M. le Président fait observer que, cette question n'étant pas à l'ordre du jour, il ne peut donner la parole que pour une rectification au procès-verbal.

M. Vidard demande alors que la parole lui soit donnée dans une prochaine séance.

M. Loustau, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 18 décembre 1868, de..... 947
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 53
1000
A déduire par suite de décès pendant ce semestre..... 8
Nombre total des Sociétaires au 18 juin 1869..... 992

Les recettes effectuées pendant le 1er trimestre de 1369 se sont élevés à :

	fr.	c.	fr.	c.
1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc...	11,082	»		
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable....	13,225	»	51,947	85
3° Vente d'obligations au même fonds.....	27,640	85		
Il reste à recouvrer en exonérations, droit d'admission, cotisations, amendes, etc.....			24,518	»
Total de ce qui était dû à la Société.....			76,465	85
Au 18 décembre 1868, le solde en caisse était de.....	4,397	26		
Les recettes effectuées pendant le premier semestre de 1869 se sont élevés à.....	51,947	85	56,345	11
Les sorties de caisse du semestre écoulé se sont élevées à :				
1° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.....	9,963	15	38,225	41
2° Pour achat d'un terrain à valoir.....	28,262	26		
Il reste en caisse à ce jour.....			18,119	70
dont..... 5,087 31 pour le service courant,				
et..... 13,032 39 pour le fonds social.				
Somme égale..... 18,119 70			18,119	70
La Société possède en outre : 1° en portefeuille, sur son fonds social inaliénable, 269 obligations nominatives de chemins de fer, ayant coûté.			79,269	45
(Ce qui les ramène au prix moyen de 294.68.)				
2° Un terrain de 198m.35 sur lequel elle a déjà payé.....			28,262	26
Total.....			107,531	71

M. LE PRÉSIDENT met aux voix l'approbation des comptes du trésorier ; ces comptes sont approuvés.

M. LE PRÉSIDENT adresse au nom de la Société des remercîments à M. Loustau pour sa bonne gestion et son dévouement aux intérêts de la Société.

L'ordre du jour appelle la remise de la médaille d'or à l'auteur du meilleur mémoire inédit déposé à la Société pendant l'année 1868.

M. LE PRÉSIDENT rend compte du résultat de l'examen des mémoires présentés dans le courant de l'année. Ces mémoires ont été examinés par les quatre sections du comité; plusieurs d'entre eux ont été renvoyés à l'appréciation d'une commission composée du président et des quatre vice-présidents. Cette commission a décidé que la médaille d'or serait décernée, cette année, à M. Lavalley, pour son mémoire sur l'état d'avancement des travaux du canal maritime de Suez.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Charbonnier père, membre de cette Société. Il invite la personne connaissant le mieux les travaux de cet ingénieur à rédiger une notice nécrologique pour le Bulletin.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Simonin, pour sa communication sur le chemin de fer du Pacifique, les mines de la Nevada et les placers de Californie.

M. SIMONIN indique en commençant qu'il a l'intention de parler spécialement du chemin de fer du Pacifique, à l'exclusion des autres sujets indiqués à l'ordre du jour.

Il fait remarquer que depuis longtemps les Américains avaient envoyé des explorateurs avec mission de traverser de part en part le continent de l'Amérique du nord.

En 1842-44, le capitaine (aujourd'hui général) Frémont a exécuté ce voyage, après avoir rencontré d'énormes difficultés.

Dès cette époque et même dès le commencement du siècle, les Américains avaient compris la nécessité de jeter une route entre les deux Océans.

M. SIMONIN ajoute que la difficulté qui s'est présentée tout d'abord consistait dans le choix du point de départ du côté de l'Atlantique. Les Américains des États du Sud pour conserver leur influence réclamaient un tracé, tandis que les États du Nord en réclamaient un autre.

Sur ces entrefaites la guerre de sécession éclata.

En 1862, le président Lincoln décréta en même temps la suppression de l'esclavage, et le point de départ du chemin de fer transcontinental, qui fut fixé à Omaha, sur le Missouri.

M. SIMONIN fait remarquer qu'une fois le chemin décrété, deux Compagnies se formèrent pour l'entreprise : l'une partit de Sacramento, l'autre d'Omaha. Le point de rencontre des deux lignes ainsi construites devait limiter la part attribuée pour l'exploitation à chacune de ces deux Compagnies.

M. SIMONIN ajoute que les avantages accordés aux Compagnies ont été très-considérables, l'État leur ayant concédé l'entreprise aux conditions suivantes :

1° Il leur donnait le terrain pour la voie et ses dépendances, le droit d'user des matériaux et des bois rencontrés en chemin, plus la surface de dix milles carrés de chaque côté de la voie et par chaque mille d'avancement, ce qui représente, sur la longueur totale du chemin d'Omaha à Sacramento (1800 milles), une surface égale

au cinquième de celle de la France. (Le mille terrestre américain vaut en nombre rond 1610 mètres.)

2° En y ajoutant comme subvention pécuniaire 16,000 piastres (environ 80,000 fr.) par mille en pays de plaine; 48,000 piastres (240,000 fr.) par mille en pays de montagne; enfin, 32,000 piastres (160,000 fr.) par mille, pour les hauts-plateaux entre les Montagnes-Rocheuses et la Sierra-Nevada.

M. Simonin fait remarquer que la valeur des subventions réunies a formé le capital nécessaire pour l'établissement de la voie, de telle façon que les Compagnies ont à exploiter un chemin qui est en définitive payé par l'État.

Il ajoute que les matériaux ont été trouvés sur place, et que les difficultés de construction ont été en somme peu considérables.

M. Simonin considère le chemin de fer du Pacifique comme la principale route du globe.

Les communications avec l'extrême Orient vont se faire ainsi plus rapidement. Il y aura économie de temps et d'argent, et, de plus, le chemin circulant dans une même route à climats tempérés, les marchandises n'auront plus à subir des variations considérables de température pendant le trajet. Ceci est surtout important pour les thés, les graines de vers à soie, etc.

M. Simonin indique ensuite le tracé que l'on a adopté. Le chemin suit les lignes d'eau à partir d'Omaha sur le Missouri, jusqu'à Julesburg. Ce n'est qu'à partir de Chayenne, environ à 800 kilomètres du Missouri, qu'on a entrepris des travaux un peu difficiles.

La traversée des Montagnes-Rocheuses a pu s'effectuer sans tunnel, en adoptant le tracé proposé par M. Evans, qui a permis de faire passer le chemin dans un col à l'altitude de 2500 mètres. Omaha, point de départ, est à la cote d'environ 300 mètres.

M. Simonin fait remarquer que jusqu'au col d'Evans le chemin présente une pente régulière faible, qui est presque partout la pente naturelle du sol.

Après la traversée des Montagnes-Rocheuses, le chemin traverse le plateau intérieur constituant le territoire d'Utah ou pays des Mormons, l'État de Nevada, puis descend de l'altitude d'environ 2,200 mètres, à laquelle il franchit la ligne de faîte de la Sierra-Nevada, à la cote zéro, qui est celle de Sacramento. Il rachète cette différence de niveau au moyen de pentes qui vont jusqu'à 0m.030 par mètre.

Dans cette partie du chemin il a fallu abriter la voie en différents points, et sur une longueur totale de 25 kilomètres, au moyen de toits en charpente, pour la garantir de la chute des neiges, des avalanches, etc.

Le chemin est dans tout son parcours à voie unique.

M. Simonin ajoute que, lors de la construction, l'avancement était très-remarquable : on a posé de 6 à 8 et jusqu'à 10 kilomètres de voie par jour.

Les ouvriers étaient tous armés, pour se défendre contre les Indiens, et couchaient et mangeaient dans les wagons transformés en cantines et en dortoirs.

Les torrents ont été traversés par des ponts en charpente, dont quelques-uns ont été reconstruits en pierres. D'ici peu de temps on aura ainsi un chemin très-bien établi, réunissant l'océan Pacifique à l'océan Atlantique, et servant à la fois au transport des émigrants, des mineurs, des métaux précieux de Californie, de Nevada et au transit de marchandises de l'extrême Orient. Le chemin fonctionne régulièrement depuis le 10 mai 1869.

M. Simonin termine sa communication en comparant le matériel américain au matériel employé par nos Compagnies.

Le trajet complet de New-York à San-Francisco, demandant sept jours, lui paraît moins fatigant que le trajet de Paris à Marseille, par exemple, qui ne demande que dix-sept heures.

Il ajoute que les Compagnies françaises n'ont fait aucun progrès sous le rapport des wagons à voyageurs depuis 1842.

Il décrit les wagons américains. Il dit qu'avec un faible supplément de prix (en moyenne 10 francs par jour et par personne) on peut voyager seul ou avec ses amis, dans un compartiment isolé (*state-room*) ou même dans un wagon spécial (*palace-car*), contenant des lits, une table, des siéges, un sofa, etc. Le supplément est alors de 15 à 20 fr. par jour.

Les wagons ordinaires contiennent généralement 48 places.

Dans ces wagons, un espace resté libre au milieu permet au voyageur de circuler sur toute l'étendue du train.

A droite et à gauche de ce passage se trouvent placés des siéges tournants, très-confortables; avec un supplément de prix qui est moyennement de 1 dollar (5 francs) par nuit on peut dormir dans un lit excellent.

Le chauffage a lieu l'hiver au moyen de poêles disposés aux extrémités des wagons. La ventilation est en tout temps excellente. Chaque voiture contient au moins un *water-closet*, et une table de toilette avec linge, savon, brosses, peignes, etc.

M. Simonin ajoute que les Compagnies françaises repoussent systématiquement les améliorations réalisées dans le matériel américain, et il demande, en terminant, à M. le Président de vouloir bien ouvrir la discussion sur ce point.

M. le Président croit qu'il y a beaucoup à faire pour la commodité des voyageurs des chemins de fer, mais il est bien obligé d'ajouter que ces avantages ne peuvent être obtenus qu'en augmentant notablement la place affectée à chaque voyageur.

Il fait remarquer que si l'on compare le voyage en wagons au voyage en diligence, l'avantage reste encore aux chemins de fer, tels qu'on les exploite en France, mais que certains perfectionnements lui paraissent indispensables. Il cite en première ligne l'addition dans tous les trains d'un *water-closet*, l'emploi de wagons salons, tels que ceux du chemin de l'Ouest, la suppression de ces contrôles incessants qui troublent le repos du voyageur.

M. Nordling demande quelle est la largeur de la voie américaine.

Il pense qu'avec la voie actuelle, de 1.50, et le gabarit nécessité par les travaux d'art existants, le système américain avec couloir est inapplicable.

M. Nordling cite des wagons allemands dans lesquels il a voyagé. Dans ces wagons il a fallu se résoudre à perdre une place par banquette et déplacer le couloir actuel, de manière à laisser deux places d'un côté et une place seulement de l'autre.

M. Nordling pense qu'on pourrait adopter le wagon à deux étages, en faisant du deuxième étage une annexe du premier, en y disposant des lits.

M. Chobrzynski a aussi voyagé dans les voitures système américain sur les chemins du duché de Bade et de la Suisse. Ces voitures sont lourdes, instables, incommodes pour les voyageurs, à cause du grand nombre de personnes réunies dans le même compartiment.

M. Gaudry dit que l'on ne connaît en France que les locomotives américaines, mais que le matériel roulant est à peu près inconnu. Il trouve qu'il serait très-utile d'avoir des renseignements détaillés.

M. Gaudry désirerait savoir quelle est la composition d'un train américain, de

200 voyageurs, par exemple, pour pouvoir le comparer à un train de composition ordinaire, pouvant contenir le même nombre de voyageurs.

M. LE GÉNÉRAL HEINE, présent à la séance, fait remarquer que les wagons américains figuraient dans les différentes expositions. Il dit que des wagons-lits entre autres avaient été exposés en 1867; que, depuis, une Compagnie qui exploite ces voitures en Amérique avait proposé leur application au chemin de fer de Paris à Lyon, mais qu'on n'a pas encore donné suite à cette demande.

M. LE GÉNÉRAL HEINE ajoute qu'en Amérique ces wagons-lits sont exploités par une Compagnie spéciale, qui s'entend avec les Compagnies principales au point de vue du transport de ces wagons sur les lignes américaines.

M. DEPREZ dit qu'il connaît les wagons proposés par cette Compagnie. Ces wagons ont un poids considérable : trente-cinq tonnes.

Il ajoute qu'il serait utile de connaître les tarifs des chemins américains.

M. SIMONIN, répondant à M. Nordling, dit qu'il ne se rappelle pas exactement la largeur de la voie sur le chemin de fer du Pacifique, et cette largeur est d'ailleurs variable, aux États-Unis, d'une ligne à une autre. Il en est de même pour les tarifs que demande à connaître M. Deprez. Pour ces derniers, on peut cependant admettre la moyenne de *deux cents* (dix centimes) par voyageur et par kilomètre. Il n'existe qu'une seule classe, en dehors des places de luxe dont il a été question.

M. SIMONIN communiquera les dessins des voitures américaines, dès qu'il les aura reçus. En ce qui concerne le peu de stabilité de ce matériel, il ajoute qu'on ne marche en Amérique qu'à une vitesse faible, 20 milles à l'heure, ou 32 kilomètres en moyenne.

M. SIMONIN critique l'appareil électrique appliqué maintenant sur les chemins français pour permettre aux voyageurs de prévenir le chef de train en cas d'accident.

Il ajoute qu'en Amérique tout ce système compliqué est remplacé par une simple corde, régnant sur toute la longueur du train.

Répondant à une dernière demande de M. Nordling, M. Simonin dit que si les voyageurs ne veulent pas ou ne peuvent pas prendre pour la nuit les wagons dortoirs ou *sleeping-cars*, on leur fournit, au moyen du supplément de prix de 2 fr. 50, un fauteuil à dossier dans lequel on dort parfaitement.

M. DALLOT connaît le wagon-salon du chemin de fer de l'Ouest, dont a parlé M. Alcan.

Il le trouve très-agréable pour les petits trajets, mais peu confortable pour les parcours de nuit.

M. DALLOT, en voyageant en Autriche, a examiné une disposition très-simple, qui consiste à rapprocher les deux siéges de face d'un wagon ordinaire et à former ainsi un petit lit assez commode.

Il ajoute que les dispositions des wagons américains ou de wagons-salons, si elles étaient adoptées, augmenteraient forcément le poids mort des trains, et auraient pour conséquence la multiplication du nombre de trains, quand déjà les lignes françaises sont très-chargées.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Simonin de son intéressante communication et l'engage à la compléter dans la prochaine séance en ce qui concerne les nouvelles mines de la Nevada et des nouveaux placers de la Californie.

NOTE

SUR LES CHARGES ROULANTES D'EXPLOITATION

CONSIDÉRÉES COMME SURCHARGES D'ÉPREUVES

DES TABLIERS MÉTALLIQUES

PAR M. **LEYGUE.**

I

Envisagé daus toute sa généralité, le calcul d'un pont à poutres droites présente de grandes difficultés, et même on peut dire que la double considération d'appuis multiples et de surcharges discontinues, variables de positions, complique les formules au point de les rendre inextricables.

Sacrifiant la rigueur à la simplicité, on se borne, dans les calculs des *ponts à plusieurs travées*, à des résultats approchés : les charges distinctes d'exploitation sont remplacées par des surcharges continues, et on substitue à la longueur variable des convois, engagés sur les poutres, l'hypothèse d'une charge entière des travées. Nous reviendrons plus loin sur l'une et l'autre de ces concessions théoriques, consacrées d'ailleurs par de nombreuses applications.

Lorsqu'au contraire la question est limitée à l'étude d'un *pont à une seule travée*, il devient toujours possible de trouver la série des efforts moléculaires que déterminent les positions différentes des surcharges. Toutefois les développements algébriques qui conduisent au maximum de ces efforts, pour chaque section de poutre, et au plus grand de ces maximum, pour la poutre entière, présentent encore certaines complications devant lesquelles on a souvent reculé, se contentant dès lors des surcharges uniformes administratives. Mais si l'on retrouve ainsi la simplicité, on sacrifie du moins l'exactitude des résultats; car les limites de 5000 kilog. et 4000 kilog. pour les passages inférieurs, et de 400 kilog. pour les passages supérieurs, sont tout à fait insuffisantes du moment où ces chiffres interviennent dans les calculs pour y remplacer les charges d'exploitation.

Déjà MM. Molinos et Pronnier ont affirmé les différences qui séparent les surcharges administratives de celles en circulation sur les ouvrages,

en présentant une série de poids relatifs aux PI, et variant de 16000 k. à 4830 kilog. pour des portées de 2 à 20 mètres; M. Cottrau a publié (1867)un tableau où les surcharges descendent de 11000 à 6240 kilog. pour les mêmes limites de portées; M. Bourdais indique les chiffres 10400 et 4400 kilog.....

Ces valeurs peuvent sans doute se justifier, dans leurs écarts, par les divergences des charges roulantes, adoptées par chaque auteur, mais elles font assurément désirer la série des calculs dont elles sont sorties; cependant les formules sont peu développées et manquent complétement du caractère de généralité indispensable aux applications ultérieures. Préoccupé de cette lacune, j'ai résumé, dans cette note, la partie analytique de la substitution dont je viens d'indiquer l'esprit et dont l'utilité peut se résumer ainsi : Conserver aux calculs la simplicité que donnent les charges administratives et donner aux ouvrages l'*uniformité de résistance*.

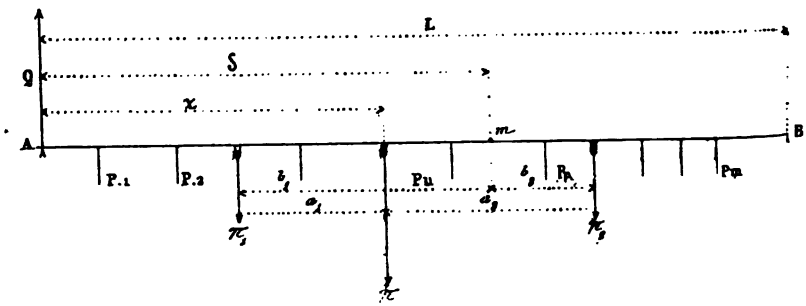
II

RECHERCHES DES MOMENTS MAXIMUM DANS L'HYPOTHÈSE DE POIDS DISCONTINUS.

Les poutres d'un pont à une seule travée peuvent se trouver dans deux circonstances bien distinctes. Elles peuvent être simplement posées sur leurs appuis, ou bien encastrées sur ces appuis. Examinons d'abord le premier cas.

Outre la charge constante et uniformément répartie p, chaque poutre est soumise à un groupe de forces distinctes P_1, P_2..., P_n, P_{n+1}... P_m, auquel on attribue successivement toutes les positions comprises entre P_1, se confondant avec l'appui A et P_m se confondant avec l'appui B. Considérons dès lors (fig. 1) une section quelconque (m) de la poutre, et désignons par :

Fig. 1



π, la résultante des charges P;

π_1, la résultante des charges à gauche de m;

π_2, la résultante des charges à droite de m;
Q, la réaction de l'appui A;
z, l'abscisse variable de la résultante π;
b_1, la distance de la résultante π_1 à m;
b_2, la distance de la résultante π_2 à m;
a_1, la distance de la résultante π_1 à π;
a_2, la distance de la résultante π_2 à π;
δ, l'abscisse constante du point m;
on a pour définition :

$$\pi = \pi_1 + \pi_2; \qquad b_2 = a_2 - \delta + z; \qquad \pi(\delta - z) = \pi_1 b_1 - \pi_2 b_2.$$

D'autre part, la réaction de l'appui A s'exprime par :

$$Q = \frac{pL}{2} + \pi\left(1 - \frac{z}{L}\right)$$

et l'équation générale des moments fléchissants de la section m, comprise entre les deux charges P_n et P_{n+1}, est de la forme

$$\mu = Q\delta - \frac{1}{2} p\delta^2 - \pi_1 b_1.$$

Remplaçant Q et $\pi_1 b_1$ par leurs valeurs, on trouve, tout calcul fait :

$$\mu = \frac{p\delta}{2}(L - \delta) + \pi_2(\delta - a) + \left[\pi\left(1 - \frac{\delta}{L}\right) - \pi_2\right] z = \text{const} + B z.$$

Toutes choses égales d'ailleurs, le maximum de cette expression correspond aux valeurs extrêmes de z, suivant que le coefficient B de cette variable est positif ou négatif; et comme l'équation μ ne convient qu'aux positions du système telles que les charges P_n et P_{n+1} soient l'une à gauche et l'autre à droite du point m, il se trouve établi que le maximum de μ, en m, se réalisera lorsque les charges P_n ou P_{n+1} se trouveront à l'aplomb de la section m. Or le point m est un point quelconque de la poutre, et les charges P_n et P_{n+1} n'ont pas à répondre à d'autres conditions que celle d'être contiguës; donc enfin, lorsque la poutre est chargée de poids discontinus, *le maximum des moments de rupture se trouve toujours à l'un des points d'application de ces poids.*

Il est facile de voir, d'après le théorème de la superposition des effets des forces, que cette proposition est également applicable au cas où les sections d'appuis exercent sur les poutres une action d'encastrement; le second membre de l'égalité (μ) s'augmente simplement alors de termes indépendants de z et conserve par conséquent la forme simple

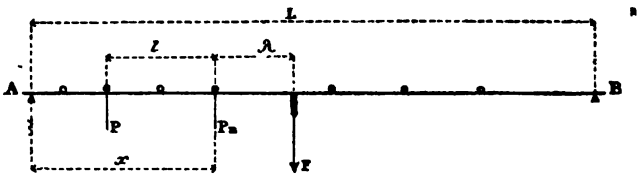
$$\mu = A + Bz.$$

Nous venons d'indiquer que le moment maximum de rupture se produit, en chaque section, au moment où l'une des charges distinctes vient

à y passer. Partant de ce point, si nous cherchons la position la plus défavorable du système pour chacun des poids, nous trouverons autant de moments maximum relatifs; la section de plus grande fatigue répondra au plus grand de ces maximum, qui sera dès lors le maximum absolu.

Reprenons donc la poutre AB, libre à ses deux extrémités, pour y considérer en particulier la section et la charge P_n, simultanément variables avec l'abscisse x; les lettres L et p conservent les significations précédentes (fig. 2), tandis que nous désignons par :

Fig. 2



F, la résultante des forces distinctes P;

λ, la distance de la charge P_n à la résultante F.

[Le signe positif (+) est attribué à λ, si la section est à gauche de F; le signe négatif (—) si la section est à droite].

P, l'une quelconque des charges discontinues situées à gauche de la charge considérée;

l, sa distance à cette même charge.

On a pour toutes les sections P_n :

$$(1) \qquad \mu = \left[\frac{pL}{2} + F\left(1 - \frac{x+\lambda}{L}\right)\right] x - \frac{1}{2} p x^2 - \Sigma P l.$$

Cette équation représente une parabole dont le sommet a pour ordonnée :

$$(2) \qquad x = \frac{L}{2} - \lambda \frac{F}{2F + pL}.$$

On voit, par l'égalité (2), que la valeur maxima de μ ne saurait avoir lieu pour $x = \frac{L}{2}$, que si l'on avait $\lambda = o$; en d'autres termes, pour que la section de plus grande fatigue fût au milieu de la poutre, le centre de gravité des charges discontinues devrait se trouver sur la verticale passant par la charge P_n considérée. On peut citer comme exemple de ce cas particulier une charge unique et 3, 5, 7, etc., charges égales et également espacées.

On pourrait désirer connaître, *à priori*, la charge P_n pour laquelle les formules (2) et (1) appliquées conduiraient, la première à la section de

plus grande fatigue, la seconde, au moment maximum absolu; mais aucune d'elles ne se prête à une pareille interprétation; on devra essayer successivement les charges P et comparer les résultats obtenus. Quoi qu'il en soit, il n'y a pas lieu de s'exagérer cette indétermination, car en pratique, les distances relatives et les valeurs de P ne sont pas assez différentes pour qu'il soit nécessaire d'étendre à toutes les charges l'application des formules (1) et (2); le plus souvent il suffit de faire les calculs pour les deux poids les plus voisins de la résultante F, et le plus grand des deux moments de rupture obtenus est le *maximum absolu*.

III

RECHERCHE DE LA CHARGE UNIFORMÉMENT RÉPARTIE DE MÊME EFFET QUE LES CHARGES DISCONTINUES.

Nous entendons par charge uniformément répartie de même effet que les charges discontinues, une surcharge de même nature que p, et telle que son action, étendue à la longueur entière de la poutre, aurait pour résultat de déterminer, dans la section de plus grande fatigue, due aux charges distinctes, un moment de rupture égal à celui qui répond à ces mêmes charges discontinues.

Soit π cette surcharge; les moments fléchissants de la poutre A B, soumise aux forces $p+\pi$ par unité de longueur, sont représentés par la fonction :

$$\mu = \frac{p+\pi}{2}(L-x)\,x \tag{3}$$

dont la valeur doit être identique à celle de l'équation (1), lorsque la variable (x) représente l'abscisse de la section de plus grande fatigue (Éq. 2). On aura donc :

$$\mu = \frac{2F}{L}\left(1-\frac{\lambda}{L-x}\right) - \frac{2\Sigma\, Pl}{(L-x)\,x} \qquad \text{[Éq. 1 et 3]}. \tag{4}$$

Il est facile de voir que la parabole μ (Éq. 4), déterminée pour la plus grande valeur calculée de π, est l'enveloppe de tous les moments maximum relatifs, sous les charges P. En effet, d'une part les arcs de paraboles (Éq. 1) sont tout entiers au-dessous des paraboles correspondantes (Éq. 3), et d'autre part les paramètres de ces dernières étant représentés par $\frac{1}{p+\pi}$, la plus grande valeur de π donnera une parabole de paramètre minimum et par suite enveloppe de celles dont les paramètres seraient supérieurs; donc et à plus forte raison son contour sera-t-il enveloppe des arcs inférieurs : $\mu = f(p+P)$.

La lettre p qui, dans les formules précédentes, représente le poids mort supporté par chaque poutre caractérise, dans les applications, la nature des tabliers. Je rappellerai d'une façon générale que, d'après les systèmes adoptés pour le remplissage des ossatures métalliques, les valeurs de p peuvent varier du simple au quadruple suivant que l'on considère des tabliers avec plancher en bois, en fer ou en maçonnerie. Il paraît intéressant de se rendre compte de l'influence du poids mort sur les valeurs x et π.

L'application de la formule (2) dans l'hypothèse de charges mortes p et p', différentes, donne pour un même système de surcharges discontinues :

$$(5) \qquad x - x' = \frac{F L \lambda}{(2F + pL)\ (2F + p'L)}\ (p - p'),$$

d'où il résulte que, toutes choses égales d'ailleurs, les différences $(x - x')$ et $(p - p')$ seront de même signe ; c'est-à-dire que pour $p > p'$, on aura $x > x'$ et inversement. La formule (5) indique également que, pour des portées variables, les différences $(x - x')$ vont en en diminuant lorsque les longueurs des poutres augmentent; en effet, posons

$$\frac{pL}{F} = m; \qquad \frac{p'L}{F} = m' \qquad \text{et} \qquad \frac{m}{m'} = 1$$

l'égalité (5) peut s'écrire :

$$x - x' = \lambda \frac{3m}{(m+5)^2 - 9}.$$

Or m augmente avec la portée, comme nous le verrons plus loin, donc $(x - x')$ diminue.

D'un autre côté, si nous dérivons l'équation (3) par rapport à p, considéré comme variable, nous trouvons :

$$\frac{d\pi}{dp} = \frac{2F^2\lambda^2}{(2F + pL)^2\ (L - x)^2}\left[\frac{2L.\ \Sigma Pl}{(2F + pL)\ x^2} - 1\right]$$

et comme on a :

$$Fx\left(1 - \frac{x + \lambda}{L}\right) - \Sigma Pl = \frac{\pi x}{2}(L - x)$$

le terme différence de $\frac{d\pi}{dp}$ peut se mettre sous la forme :

$$-\frac{2Fpx}{2F + pL}.\ \lambda - \pi\ (L - x)\ x - px^2,$$

valeur toujours négative, quel que soit λ; on a donc :

$$\frac{d\pi}{dp} = -K^2.$$

Nous devons en conclure que la fonction π diminue lorsque la variable p augmente, c'est-à-dire que pour $p > p'$ on aura $\pi < \pi'$, et inversement. Toutefois les formules (2) et (4) nous permettent de prévoir que les divergences seront toujours très-faibles, car la surcharge π (Éq. 4) ne dépend du poids mort que par l'intermédiaire de la section de plus grande fatigue, et celle-ci (Éq. 2) n'oscille jamais qu'entre les limites restreintes, déterminées par le milieu de la poutre et la moitié de λ, pour lesquelles les moments de flexion restent sensiblement constants. A l'appui de cette assertion, nous renvoyons du reste au tableau n° 1, page 275, d'où ressort, d'une manière évidente, l'indépendance pratique de la nature du tablier et des surcharges à considérer dans les calculs.

IV

EXTENSION DES VALEURS π AUX POUTRES A PLUSIEURS TRAVÉES.

La formule (4) se rapporte exclusivement au cas où l'on envisage une poutre libre sur ses appuis; or on peut se demander si les valeurs qui en sont déduites ne seraient pas également applicables au calcul des poutres encastrées. Sans chercher la solution de cette question dans une analyse détaillée et rigoureuse, qui ne présenterait aucun intérêt pratique, je me bornerai à indiquer les résultats fort simples que l'on obtient dans l'hypothèse de l'uniformité des charges P et de leur équidistance.

Considérons deux poutres : l'une libre, l'autre encastrée horizontalement à ses extrémités; sur chacune d'elles les charges distinctes et constantes sont espacées conformément aux croquis ci-dessous.

Dans le cas d'appuis simples (fig. 3), si le nombre N des charges est *impair*, le moment maximum, situé dans l'axe de la poutre, a pour valeur :

$$\mu_m = \frac{NPL}{4} - \frac{PL}{N+1}\left(1+2+3 \ldots + \frac{N-1}{2}\right) = \frac{PL}{8}(N+1),$$

Fig. 3

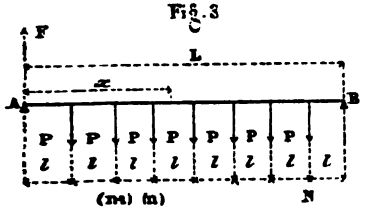
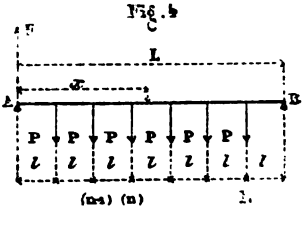


Fig. 4



et par suite, on a

$$\pi = (N+1)\cdot\frac{P}{L}.$$

Si le nombre N des charges est *pair* (fig. 4), on trouve :

$$\mu_m = \frac{NPL}{4} - \frac{PL}{2(N+1)}\left[1+3+5 \ldots\ (N-1)\right] = \frac{PL}{8}\cdot\frac{N(N+2)}{N+1}$$

et par suite

$$\pi = \frac{N(N+2)}{N+1}\cdot\frac{P}{L}.$$

Dans le cas, au contraire, où les appuis déterminent l'encastrement, que le nombre N des charges soit pair ou impair, le moment d'écartement s'exprime par :

$$\mu_e = -\frac{1}{12}\cdot PL\frac{N(N+2)}{N+1},$$

et par suite, on a :

$$\pi = \frac{N(N+2)}{N+1}\cdot\frac{P}{L},$$

valeur identique à la précédente et *inférieure* à la première.

Devant une pareille coïncidence et surtout devant l'insuffisance reconnue des surcharges administratives pour bases des calculs, il devient rationnel d'étendre les valeurs π (Éq. 4) aux poutres encastrées horizontalement et même aux poutres à plusieurs travées, dont la continuité détermine autant d'encastrements partiels que d'appuis intermédiaires; car on ne saurait douter qu'elles ne puissent répondre beaucoup plus exactement aux conditions d'exploitation que les chiffres du contrôle.

Les trois formules μ précédentes ont été calculées indépendamment du poids mort p d'après le principe de la superposition des effets des forces.

Les deux premières s'établissent directement et sans aucune difficulté; il n'en est pas tout à fait de même pour la troisième. Voici en quelques mots la marche suivie des calculs : Considérons une section telle que (x) comprise entre les charges distinctes dont les numéros d'ordre sont n et $n-1$; le moment de flexion s'exprime par :

$$\mu_x = \mu_e - Fx + nPx - Pl(1+2+3 \ldots\ n);$$

multipliant par dx et intégrant, on a :

$$(1) \qquad \varepsilon f'(x) = \mu_e x - F\frac{x^2}{2} + nP\frac{x^2}{2} - Plx\frac{n+1}{2}\ n + C_n.$$

A droite de la $n^{ième}$ charge, l'équation (1) s'écrit :

$$(\alpha) \qquad \varepsilon f'(x) = \mu nl - F\frac{n^2 l^2}{2} + nP\frac{n^2 l^2}{2} - P\frac{n^2 l^2}{2}(n+1) + C_n.$$

A gauche de la même charge, on aura :

$$(\beta)\quad \varepsilon f'(x) = \mu n l - F\frac{n^2 l^2}{2} + \frac{(n-1)\,P\,n^2 l^2}{2} - P\frac{n^2 l^2}{2}(n-1) + C_{n-1}.$$

Égalant les valeurs (α) et (β), on trouve :

$$C_n - C_{n-1} = \frac{P l^2}{2}.\, n^2,$$

et par suite, eu égard à la généralité de cette formule :

$$C_n = \frac{P l^2}{2}.\,(1 + 2^2 + 3^2 \ldots n^2) = \frac{P l^2}{12} n\,(n+1)\,(2n+1).$$

Si le nombre des charges P est *pair* on aura, en assignant à n le numéro de la charge la plus voisine de la section de symétrie :

$$n = \frac{N}{2}; \qquad F = nP \qquad \text{et} \qquad l = \frac{L}{2n+1}.$$

Or la tangente à la courbe, décrite par la fibre moyenne de la poutre a une inclinaison nulle pour $x = \frac{L}{2}$, donc on aura (Éq. 1) :

$$(\gamma)\quad 0 = \mu_e\frac{L}{2} - \frac{FL^2}{8} + \frac{n\,PL^2}{8} - \frac{PL}{4}.\,l\,n\,(n+1) + \frac{P l^2}{12} n\,(n+1)\,(2n+1),$$

d'où enfin, en remplaçant F, n et l par leurs valeurs :

$$\mu_e = -\frac{PL}{12}.\quad \frac{N\,(N+2)}{N+1}.$$

Si, au contraire, N était *impair*, on aurait :

$$n = \frac{N-1}{2} \qquad F = \frac{2n+1}{2} \qquad \text{et } l = \frac{L}{2\,(n+1)},$$

et il est facile de voir que la substitution de ces nouvelles valeurs dans l'équation (γ) conduirait au même résultat :

$$\mu_e = -\frac{PL}{12}.\quad \frac{N\,(N+2)}{N+1}.$$

Nous observerons que l'identité des moments μ_e, pour les poutres encastrées et la divergence des moments μ_m, pour les poutres libres à leurs extrémités excluent, au point de vue théorique, l'adoption générale des surcharges π (Éq. 4) pour les poutres à plusieurs travées. Mais si l'on remarque que les moments fléchissants ne sont pas connus très-rigoureusement, puisque les calculs supposent les sections constantes, tandis qu'en pratique on les fait généralement variables; et d'autre part,

que les calculs de ce genre sont toujours affectés par l'incertitude des hypothèses fondamentales de la théorie, on ne peut raisonnablement attacher beaucoup d'importance aux différences très-faibles $\mu_m - \mu_n$ et même il est permis de penser que les erreurs commises seront notablement inférieures à celles qui ressortiraient de l'évaluation absolument exacte des moments de flexion. Ajoutons encore qu'un léger accroissement du coefficient, admis dans les calculs de résistance, ne saurait présenter aucun inconvénient sérieux, et l'adoption des valeurs π (form. 4) aux ponts, à une ou plusieurs travées, ne laissera plus d'inquiétude à la pratique.

V

APPLICATION DES FORMULES (2) ET (4) AUX PASSAGES INFÉRIEURS.

Les circonstances spéciales du trafic devant seules servir de bases à la détermination des surcharges, dont nous nous occupons en ce moment, nous avons dû rechercher avec le plus grand soin le système de poids discontinus, en circulation sur les ouvrages. A cet effet, limitant notre étude au réseau du chemin de fer du Nord, nous avons dressé le tableau complet des types de locomotives adoptés, ce qui nous a permis de reproduire exactement toutes les conditions d'exploitation, soit en combinant directement ces types entre eux, soit en y ajoutant un ou plusieurs wagons à marchandises de $5^m,30$ de longueur, portant 12 tonnes sur deux essieux.

Les formules (x) et (π) appliquées à une même portée donnent des résultats notablement différents, suivant les groupes d'essieux considérés; les calculs ayant été faits pour chaque ensemble réalisable, les plus grandes valeurs π ont été adoptées. Observons du reste qu'on peut se guider, dans un premier essai, en remarquant, d'après la formule (4), que les valeurs maxima (π) répondront, toutes choses égales d'ailleurs, aux types des machines dans lesquelles les composantes P de F seront le plus resserrées.

Les chiffres consignés dans le tableau ci-dessous se rapportent tous au mètre courant de voie simple; mais il sera toujours facile, suivant les ossatures métalliques projetées, de déterminer les charges pour lesquelles chaque poutre devra se calculer.

Tableau N° 1.

PORTÉES des VOIES L.	ABSCISSES de plus grande FATIGUE x.	NOMBRE D'ESSIEUX engagés sur les voies.	NUMÉROS des TYPES.	SURCHARGES π de même effet que les charges d'exploitation.	SURCHARGES moyennes $\frac{\Sigma P}{L}$ (3).	RAPPORT $\frac{\Sigma P}{L\pi}$.	OBSERVATIONS.
m.	m.			k.	k.	m.	
1	0.50	1 M.	16	27200	13600	0.50	(1) Pour les portées de 3m.00, avec 2 essieux engagés, on trouve :
2	1.00	1	16	13600	11100	0.83	
3 (1)	1.50	3	578	10360	11100	1.07	Tabliers en bois : $x = 1.24$; $\pi = 9945$
4	2.00	3	578	9990	9700	0.98	Tabliers maçonnés : $x = 1.29$; $\pi = 9813$
5 (2)	2.50	3	578	9060	8880	1.03	(2) Pour les portées de 5m.00, avec 4 essieux :
6	2.69	4	578	8620	8070	0.93	Tabliers en bois : $x = 2.29$; $\pi = 8660$
7	3.19	4	578	8125	8560	1.05	Tabliers maçonnés : $x = 2.32$, $\pi = 8650$
8	3.69	6	611	7940	7500	0.96	(3) ΣP représente les poids totalisés du plus grand nombre d'essieux engagés sur la portée L, et peut, par conséquent ne pas être l'ensemble qui détermine la valeur π ; Ex. : $L = 5^{m}.00$.
9	4.20	6	611	7770	6890	0.90	
10	4.70	6	611	7400	6200	0.83	
12	5.71	6	611	6840	5180	0.76	
14	6.99	6 M. 1 W.	611	6290	4130	0.66	(4) Une série de wagons donne par $1^{mèt}$ de voie simple : $\pi' = \frac{12000}{5,3} = 2300^{k}$.
16	7.86	6 M. 2 W.	611	5820	4120	0.70	
18	»	»	611	»	»	»	
20	9.87	6 M. 2 W.	611	5140	4700	0.92	
25	»	»	611	»	»	»	
30	14.15	6 M. 5 W.	611	3990	4130	1.14	M *signifie :* Essieu de machine.
40	»	»	611	»	»	»	W *signifie :* Essieu de wagon.
50	24.64	6 M. 12 W.	611	2820	2760 (4)	0.98	

En résumant les chiffres du tableau n° 1, dans une construction graphique, où les abscisses sont les portées et les ordonnées, les surcharges uniformément réparties à considérer dans les calculs, on trouve, pour représenter la relation $f(\pi, L)$, une courbe à deux asymptotes rectangulaires

$$y = 2300 \text{ kilog.}; \quad \text{et} \quad x = o. \qquad \text{(PL. 8).}$$

L'examen de cette courbe conduit aux conclusions suivantes : pour les poutres de 1 mètre à 2 mètres de portée, la plus grande valeur π répond au cas où l'on envisage un seul essieu de machine Crampton (type 16); pour les poutres de 3, 4 et 5 mètres, trois essieux de machines fortes-rampes (type 578); pour les portées de 6 et 7 mètres, quatre essieux des mêmes machines; pour les portées de 7 à 14 mètres, six essieux de machine à quatre cylindres (type 611). Quant aux poutres dont les portées dépassent 14 mètres, j'ai cru devoir admettre, comme charges roulantes, le système invariable composé d'une machine à quatre cylindres et d'une série de wagons, après avoir vérifié : 1° que jusqu'aux portées de 25 mètres un tel groupe d'essieux fatiguait plus les ouvrages que le groupe de deux Engerth (type 578), suivi de wagons; 2° que si au-dessus de 30 mètres inclusivement, le groupe de deux Engerth devenait plus fatigant que le système considéré, il ne pouvait du moins avoir pour effet d'élever le travail moléculaire dans un rapport supérieur à $\frac{6^k,7}{6^k,0}$; 3° qu'il était rare que les exigences de l'exploitation forçassent à réunir des machines (Engerth) calculées pour satisfaire isolément à toutes les exigences du trafic; 4° enfin, que l'administration supérieure, devant la rareté des surcharges extrêmes, avait élevé déjà le travail limité des poutres intermédiaires dans le rapport de $7^k,5$ à 6 kil. par millimètre carré de section.

Il est facile de voir, d'après la courbe des valeurs π, qu'au-dessous de 30 mètres de portée les surcharges du contrôle sont insuffisantes, tandis qu'au delà de 30 mètres elles deviennent exagérées, si elles doivent représenter les conditions les plus défavorables de l'exploitation. Les chiffres 5000 kil. et 4000 kil. ne sauraient donc, en aucun cas, être considérés comme les surcharges à faire intervenir dans les calculs de stabilité; et, à ce point de vue, leur indication devient nuisible. Les constructeurs, en effet, souvent tentés par leur simplicité et se retranchant derrière l'autorité que donne leur provenance, pensent, par leur usage, assurer la stabilité de leurs ouvrages, tandis qu'en réalité, celle-ci leur échappe plus ou moins, et ils ne font qu'enlever aux constructions le caractère si désirable de l'uniformité de résistance.

Un pareil résultat semble trop regrettable pour ne pas désirer qu'on supprime de l'ordonnance du 26 février 1858 la prescription des charges

mortes d'épreuve, d'autant mieux que l'on dispose pleinement du travail intérieur, indication absolue qui a du moins l'avantage de donner des résultats toujours comparables.

On sait que les flèches traduisent d'une façon parfaitement exacte les efforts moléculaires développés pendant la flexion; elles devraient donc, seules, réglementer la réception des ouvrages métalliques. Si l'on admet 6000000 de kilog. pour valeur de R, on a, dans les poutres à une travée, en représentant par L la portée de la poutre et h sa hauteur :

$$f = \frac{L^2}{16000\ h.}$$

Pour les poutres reposant sur plusieurs appuis, on aurait à calculer les flèches maxima de chaque travée, ce qui ne saurait présenter aucune difficulté, et cette base de vérification permettrait non-seulement de contrôler la bonne distribution de la matière dans les tables, mais encore, pour les poutres évidées, de déterminer la valeur exacte des treillis considérés comme organe intermédiaire remplaçant les âmes pleines.

En résumé, on rendrait à l'ingénieur le choix et la responsabilité des éléments variables des calculs, et le contrôle conserverait son autorité, car, en dernier examen, il viendrait s'assurer, par les limites des flèches, que les rapports des diverses parties constituantes des poutres adoptées sont tels que celles-ci résistent encore suivant les lois de la flexion plane, et qu'elles répondent à la condition R $\leqslant$ limite.

Avant d'adopter définitivement les valeurs π, indiquées au tableau n° 1, il importe d'examiner comment les vitesses, prises par les charges P, influent sur la flexion. On conçoit, *à priori*, que du moment où ces charges se meuvent, animées d'une vitesse v, suivant des courbes égales et parallèles à celle de la fibre moyenne de la poutre fléchie, elles exercent, en raison des forces centrifuges d'inertie, des pressions supérieures aux pressions répondant à l'état statique, et par suite que la flexion doive augmenter.

Nous empruntons au mémoire de M. Phillips et à l'ouvrage de M. Bresse, les formules suivantes, tout en remarquant que si les conditions de mouvement prises pour bases des calculs ne représentent pas toujours exactement la manière dont les choses se passent, les hypothèses admises conduisent du moins aux limites des efforts à redouter :

1° *Action d'une charge roulante unique*, Q. — Le moment maximum se produira dans la section située à égale distance des appuis; il aura pour valeur :

$$X = \frac{1}{8}\, pl^2 \left(1 + \frac{Ql}{2EI} \cdot \frac{v^2}{2g}\right) + \frac{1}{4}\, Ql \left(1 + \frac{2Ql}{3EI} \cdot \frac{v^2}{2g}\right) \text{(Phillips)}.$$

Afin de tenir compte de la vitesse v on voit que le terme $1/8\ p\,l^2$, représentant le moment limite produit par l'action isolée de la charge permanente, doit être augmenté dans le rapport

$$\text{de } 1 \text{ à } \left(1 + \frac{Q\,l}{2\,E\,I} \cdot \frac{v^2}{2g}\right);$$

et que le second terme, donnant le moment limite sous le poids Q isolé et privé de sa vitesse, doit pareillement subir une augmentation dans le rapport

$$\text{de } 1 \text{ à } \left(1 + \frac{2}{3}\,\frac{Q\,l}{E\,I} \cdot \frac{v^2}{2g}\right).$$

Le moment fléchissant X serait déterminé, si l'on connaissait la quantité I; mais pour une valeur déterminée de la plus grande tension ou compression R, à laquelle on doit soumettre la matière, le moment d'inertie est fonction du moment fléchissant; les quantités X et I restent donc indéterminées. Toutefois nous remarquons que le moment d'inertie I', déterminé en fonction de p et Q, abstraction faite de la vitesse, est une valeur suffisamment approchée de pour qu'on puisse, sans inconvénient, remplacer I par I', dans la formule X. Dès lors nous aurons, en désignant par h la hauteur de la poutre :

$$\frac{Q\,l}{E\,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{8\,R\,Q}{E\,g} \cdot \frac{v^2}{(p\,l + 2\,Q)\,h} = a,$$

et

$$X = \frac{1}{8}\,p\,l^2\left(1 + \frac{a}{2}\right) + \frac{1}{4}\,Q\,l\,(1 + \frac{3}{2}\,a).$$

Ainsi : 1° l'accroissement de flexion dû à la vitesse attribuée à la charge Q, est d'autant moins sensible, toutes choses égales d'ailleurs, que la hauteur et la longueur de la poutre sont plus grandes; 2° pour des tabliers de natures différentes, la plus grande stabilité appartient à ceux de plus grande masse.

En adoptant pour les constantes les valeurs indiquées dans la décision ministérielle du 26 février 1858 :

$$R = 6 \times 10^6; \qquad E = 2 \times 10^{10} \quad \text{et} \quad v = 11^m,12;$$

le coefficient du terme a se réduit à 0,00625, et l'application de la formule (a) aux ponts de 3 mètres de portées donne :

Tableau N° 2.

RAPPORT $\frac{l}{h}$.	TABLIERS EN BOIS.	TABLIERS MAÇONNÉS.	OBSERVATIONS.
5	$a = 0.00486$	$a = 0.0043$	La charge Q se rapporte aux machines Crampton, type n° 16. Elle a été comptée 13600 kilog.
10	$a = 0.00972$	$a = 0.0087$	
15	$a = 0.01458$	$a = 0.0120$	

Il est facile de déduire du tableau n° 2 que, dans les petits ouvrages, pour lesquels le rapport $h = \frac{1}{10}$ paraît le plus convenable, le moment de flexion, et par suite le travail moléculaire ne s'élève pas, du fait de la vitesse donnée à la charge Q, dans un rapport supérieur à $\frac{1,0065}{1.00}$; en d'autres termes, l'influence de la vitesse y est pratiquement nulle.

2° *Action d'une charge roulante uniformément répartie et continue.* — Si nous admettons l'hypothèse d'une charge uniformément répartie, dont une portion π forme un convoi roulant, sans cesse renouvelé, le moment fléchissant maximum répondra au milieu de la poutre; soient l, la portée de la poutre; p, le poids du tablier et de la surcharge par 1 mètre de poutre; $q = \pi$, le poids de la surcharge par 1 mètre, et v, la vitesse de la surcharge; on aura :

$$X = \frac{1}{8}\, pl^2 \cdot \frac{2}{u^2}\left(\frac{1}{\cos u} - 1\right); \qquad \text{(Bresse)}$$

la quantité u est déterminée par la relation :

$$(u). \qquad \frac{4\,EI}{l^2} \cdot u^2 = \frac{qv^2}{g},$$

la quantité $1/8\, pl^2$ exprimerait le moment fléchissant maximum dans le cas où la vitesse v s'annulerait,; si donc on pose :

$$n = \frac{2}{u^2}\left(\frac{1}{\cos u} - 1\right),$$

le nombre n sera le coefficient par lequel on devra multiplier ce moment pour tenir compte de l'accroissement de flexion dû à la vitesse v. Si nous remplaçons I de la formule (u) par la valeur approchée I', déduite de la limite R des tensions ou compressions, et de la flexion de la poutre sous l'action de la charge p, abstraction de la vitesse imprimée à la fraction π

de cette charge; nous trouverons, en désignant par h la hauteur de la poutre :

$$u^2 = \frac{4\,R v^2}{g\,E} \cdot \frac{\pi}{p h},$$

et adoptant pour les constantes les valeurs précédentes :

$$u^2 = 0{,}0137 \cdot \frac{\pi}{p h}.$$

Dès lors, les arcs u seront toujours très-petits, et la formule n pourra s'écrire :

$$n = \frac{2}{\cos u\,(1 + \cos u)}.$$

D'un autre côté, la valeur de cos u est d'autant plus grande que l'arc u est plus petit, et l'arc u varie en sens inverse de la hauteur de la poutre ou de la portée, pour une valeur déterminée du rapport $\frac{l}{h}$; donc: 1° toutes choses égales d'ailleurs, l'influence de la vitesse v diminue avec la portée de la poutre; 2° pour des portées égales, l'influence de la vitesse augmente lorsque la hauteur de la poutre diminue; 3° enfin, pour des portées et des hauteurs de poutres égales, l'influence de la vitesse augmente lorsque le poids mort du tablier diminue. A l'appui de ces résultats généraux, nous réunissons sous forme de tableau les valeurs n, calculées pour les ponts de 10 et 20 mètres de portée :

Tableau N° 3.

PORTÉES des POUTRES.	RAPPORT $\frac{l}{h}$.	COEFFICIENT n.		OBSERVATIONS.
		TABLIERS EN BOIS.	TABLIERS MAÇONNÉS.	
10m ...	5	1,004	1,0024	Si quelques observations directes, citées par MM. Molinos et Pronnier présentent de notables divergences avec ce tableau, il y a plutôt lieu de mettre en doute le mode de résistance des ouvrages expérimentés que l'exactitude des formules.
10m ...	10	1,008	1,0048	
10m ...	15	1,012	1,0072	
20m ...	5	1,0020	1,0012	
20m ...	10	1,0039	1,0023	
20m ...	15	1,0058	1,0035	

Les chiffres du tableau n° 3, tout aussi bien que ceux du tableau n° 2, font ressortir avec la plus grande netteté le peu d'influence qu'il convient d'attribuer à la vitesse des surcharges. Donc, et en définitive, nous maintiendrons les valeurs π du tableau n° 1.

VI

APPLICATIONS DES FORMULES (2) ET (4) AUX PASSAGES SUPÉRIEURS.

Lorsqu'on cherche, pour les passages supérieurs, à substituer des charges uniformément réparties aux charges roulantes accidentelles, une certaine complication se révèle au début même de la question. Tandis qu'en effet, pour les passages inférieurs, les voies ferrées déterminaient la direction des essieux, et que les types de machines fixaient invariablement leurs distances relatives, rien ne limite, dans le cas qui nous occupe, la position des véhicules sur les tabliers; cependant il est facile d'écarter l'embarras résultant de cette distribution arbitraire des charges, en divisant par la pensée la superficie de la chaussée en zones, dont la largeur représente celle de la voie charretière. On obtient ainsi une série de bandes sur lesquelles les convois de charrettes peuvent circuler régulièrement, et ces bandes, de tous points analogues aux voies ferrées, permettent de déterminer les surcharges maxima de chaque poutre.

Cela posé, la marche à suivre dans les calculs de π reste la même que pour les passages inférieurs; les types de locomotives sont seulement remplacés par le tableau n° 4, où se trouvent les renseignements généraux de voirie, relatifs à la question.

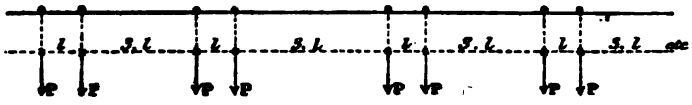
Tableau N° 4.

DÉSIGNATIONS DES CHARGES roulantes.	NOMBRE DES ESSIEUX.	LONGUEURS. VOITURE.	LONGUEURS. ATTELAGE.	LONGUEURS. TOTAL.	POIDS NET en kilogrammes.	ÉCARTEMENTS des ESSIEUX.	LARGEUR DE LA VOIE.	OBSERVATIONS.
		m.	m.	m.		m. m.	m.	
Pierres.	2	4,50	12,50	17,00	16000	2,10—2,80	2,10	On peut encore ranger, dans les voitures à 2 essieux, les rouleaux compresseurs dont la ville de Paris fait usage pour ses chaussées empierrées. Les longueurs de rouleau varient de 1m.50 à 1m.90; la surcharge maximum par 1m courant de génératrice est de 8000 kilog. L'écartement des essieux varie de 3 mètres à 3m.50.
Sucres.	2	4,50	7,50	12,00	14000	3,00	1,90	
Divers..	2	4,50	7,00	11,50	10000	2,80	1,60	
Divers..	2	4,50	5,00	9,50	8000	2,50—2,80	1,80	
Fers. ..	2	4,50	2,90	7,40	5500	3,50	1,60	
Divers..	2	4,50	2,80	7,30	2800	2,80	1,70	
Pierres	1	3,50	3,50	6,00	10200	»	1,90	
Divers..	1	3,20	2,80	6,00	4000	»	1,70	

On remarquera, d'après les chiffres rapportés dans ce tableau, que le rapport des écartements d'essieux aux largeurs totales d'attelage, voi-

tures comprises, se trouve sensiblement représenté par la fraction $\frac{1}{4}$, quel que soit le type de véhicule considéré. L'ensemble des charges en circulation sur chaque bande de chaussée, capable d'une voie charretière, se compose donc, comme l'indique le croquis ci-joint :

Fig. 5



et suivant la longueur du tablier, un, deux, ou n essieux P s'engagent entre les points d'appuis. Dans ces conditions de surcharges, où nous admettons simultanément l'uniformité des valeurs P et la régularité de leurs espacements, les formules (2) et (4) prennent les formes simples consignées au tableau n° 5.

Tableau N° 5.

NOMBRE d'essieux engagés.	ABSCISSE DE LA SECTION de plus grande fatigue, x.	CHARGE π uniformément répartie de même effet, etc.	COEFFICIENT K.	CONDITIONS permettant d'appliquer π.
1	$\frac{L}{2}$	$k.\frac{P}{L}$	2	»
2	$\frac{L}{2} + l\frac{P}{4P+pL}$	$k.\frac{2P}{L}$	$2 - \frac{l}{x}$	$x > l$
3	$\frac{L}{2} + 0{,}667.\ l\frac{3P}{6P+pL}$	$k.\frac{3P}{L}$	$2 - \frac{2l(L-0{,}667x)}{(L-x)x}$	$x > 3l$
4	$\frac{L}{2} + 1{,}5.\ l\frac{4P}{8P+pL}$	$k.\frac{4P}{L}$	$2 - \frac{l(3{,}5L-3x)}{(L-x)x}$	$x > 4l$
5	$\frac{L}{2} + 0{,}5.\ l\frac{6P}{12P+pL}$	$k.\frac{6P}{L}$	$2 - \frac{l(0{,}333L-x)}{(L-x)x}$	$x > 5l$

OBSERVATIONS. — L... portée de la voie charretière; — P... poids supporté par 1 essieu; — l... écartement des essieux d'un même véhicule; — p... poids mort du tablier par 1 mèt de voie charretière.

Avant de passer aux calculs mécaniques des valeurs π, nous pensons qu'il n'est pas sans intérêt d'insister sur la discussion trop peu connue[1] des cinq formules (π) précédentes.

1. M. Guillon, ingénieur de la Compagnie du chemin de fer du Nord, a déjà signalé dans une notice, adressée au contrôle, à l'occasion des ouvrages métalliques de la ligne de Boulogne

Une charge distincte P. — La valeur $\pi = \frac{2P}{L}$ donne une parabole-enveloppe des moments fléchissants sous la charge P, lorsque celle-ci oscille d'un point d'appui, pris comme origine, à l'autre. En effet, l'équation générale des μ, sans la charge P, dont l'abscisse variable est représentée par x, est de la forme :

$$\mu = \frac{p\,Lx}{2} + \frac{P}{L}\,(L-x)\,x - \frac{1}{2}\,px^2,$$

et l'équation analogue, dans le cas où la charge P est remplacée par la charge uniformément répartie π, est de la forme :

$$\mu = \frac{p+\pi}{2}\,(L-x)\,x.$$

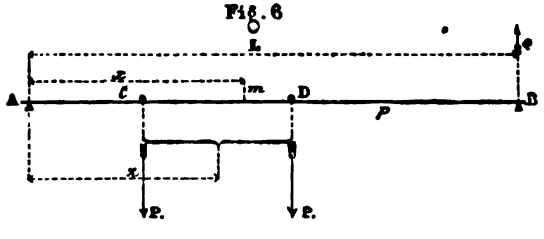
Égalant ces deux valeurs on trouve, quelle que soit l'abscisse, x :

$$\pi = \frac{2P}{L}.$$

Deux charges P. — Reprenons, à l'origine, la question des moments fléchissants dans l'hypothèse du mouvement des charges. Soit considéré un point tel que m, dont l'abscisse x est comprise entre les charges C et D; et désignons par L la portée de la poutre; P, chacune des charges roulantes supposées constantes; l, leur écartement; z, l'abscisse de leur résultante; Q, la réaction de l'appui B.

L'équation générale (fig. 6) des moments fléchissants est de la forme :

Fig. 6



$$(1) \qquad \mu = Q\,(L-x) - \frac{1}{2}\,p\,(L-x)^2 - P\left(z + \frac{l}{2} - x\right),$$

dont le maximum, pour une valeur déterminée de l'abscisse z, répondant à :

$$(2) \qquad x = \frac{L}{2} + \frac{P}{p}\left(1 - \frac{2z}{L}\right),$$

à Calais, le rebroussement qui caractérise la courbe des moments fléchissants, dans le cas où l'on considère deux charges invariablement liées l'une à l'autre.

a pour expression générale :

$$(3) \qquad \mu_m = \frac{1}{8} pL^2 + \frac{P}{2}(L-l) + \frac{P^2}{2p}\left(1 - \frac{2z}{L}\right)^2.$$

Nous déduirons de l'équation (2) les conséquences suivantes :

1° Lorsque la charge est dans l'axe de la poutre, le moment fléchissant maximum est également dans l'axe; pour $z = \frac{L}{2}$, l'équation (2) donne $x = \frac{L}{2}$; l'équation (3) devient minimum, et on a :

$$\mu_m = \frac{1}{8} pL^2 + P.\frac{L-l}{2}.$$

2° Lorsque, partant de l'axe de la poutre, la charge s'avance vers l'un des appuis (l'appui A par exemple), le moment maximum s'avance vers l'autre (B) jusqu'à coïncider, pour une position z des charges, avec le point d'application de la deuxième charge D. L'abscisse z se déduira de l'égalité :

$$x_1 = z_1 + \frac{l}{2} = \frac{L}{2} + \frac{P}{p}\left(1 - \frac{2z_1}{L}\right);$$

(4) d'où

$$z_1 = \frac{L}{2}\left(1 - \frac{pL}{2P + pL}\right);$$

et

$$x_1 = \frac{L}{2} + l.\frac{P}{2P + pL}.$$

L'équation (3) devient maximum pour cette valeur particulière de z, qui est évidemment la plus petite valeur applicable. On a :

$$(5) \qquad \mu_1 = \frac{1}{8} pL^2. + \frac{P}{2}(L-l) + \frac{P^2 p l^2}{2(2P + pL)^2}.$$

La seule condition à laquelle z doive satisfaire est

$$z_1 \geqslant \frac{l}{2};$$

d'où l'on déduit, eu égard à l'égalité (4) :

$$l \leqslant \frac{L}{2}.\frac{2P + pL}{P + pL} = \lambda_1.$$

λ_1 représente la plus grande valeur de l, applicable à la formule (6). Pour $l > \lambda_1$, on devra reprendre les formules (2) et (3) pour y faire $z = \frac{l}{2}$; on trouve, tous calculs faits :

(6) $$x_m = \frac{L}{2} + \frac{P}{p}\left(1 - \frac{l}{L}\right),$$

(7) et $$\mu_m = \frac{1}{8} pL^2 + P.\frac{L-l}{2} + \frac{P^2}{2p}\left(1 - \frac{l}{L}\right)^2;$$

3° Lorsque, partant de z_1, les charges continuent à s'avancer vers l'appui A, la variable x (formule 2), dépassant l'abscisse de la seconde charge, le moment fléchissant maximum a pour abscisse l'abscisse même de la charge D, on trouve alors :

(a) $$x = z + \frac{l}{2};$$

et

(b) $$\mu = -z^2\left(\frac{2P}{l} + \frac{P}{2}\right) + z\left[P\left(2 - \frac{l}{L}\right) + \frac{p}{2}(L-l)\right] - \frac{pl^2}{8} + \frac{pLl}{4},$$

dont le maximum répondant à

(8) $$z_2 = \frac{L}{2}\left[1 - \frac{l}{L}\left(\frac{2P + pL}{4P + pL}\right)\right]$$

a pour expression :

(9) $$\mu_2 = \frac{1}{8} pL^2 + P\left(\frac{L-l}{2}\right) + \frac{P^2 l^2}{2L(4P + pL)}.$$

La distance qui sépare la charge D de l'appui A est représentée par

$$x_2 = \frac{L}{2} + l\,\frac{P}{4P + pL}.$$

L'abscisse z_2 doit satisfaire à la condition

$$z_2 \geqslant \frac{l}{2},$$

d'où l'on déduit, eu égard à l'égalité (8)

$$l \leqslant \frac{L}{2}\left(\frac{4P + pL}{3P + pL}\right) = \lambda_2;$$

λ_2 représentera la plus grande valeur de l applicable à la formule (9). Pour les valeurs de l, supérieures à λ_2, et inférieures à λ_1, on devra reprendre les formules (*a*) et (*b*), pour y faire $z = \frac{l}{2}$. On trouve, tous calculs faits :

(10) $$x_3 = l$$

et

(11) $$\mu_3 = \left(\frac{P}{L} + \frac{p}{2}\right)(L-l)\,l.$$

En résumé, l'écartement l des charges P est forcément compris entre L, λ_1, λ_2 zéro ; Les formules (6) et (7) sont seules applicables pour les valeurs de l comprises entre L et λ_1 ;

on en déduit par combinaison avec la formule

$$(c) \qquad \mu = \left(\frac{p+\pi}{2}\right)(L-x)\,x,$$

$$(12) \qquad \pi = \frac{2P}{L}\cdot\frac{L-l}{L-x}.$$

Les formules (5) et (11) sont également applicables aux valeurs de l, comprises entre λ_1 et λ_2, mais la valeur μ_2 étant toujours supérieure à μ_1, la formule (11) est la seule à considérer. (Les valeurs μ_1 et μ_2 représentent les valeurs extrêmes de la fonction b, laquelle est décroissante par rapport à z; or on a $z\mu_1 > z\mu_2$; donc $\mu_1 < \mu_2$. On déduit de la combinaison des équations (11) et (c) :

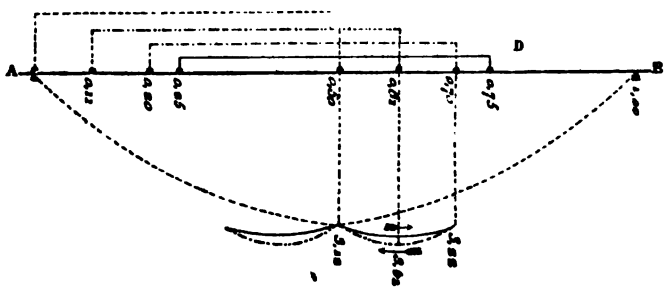
$$(13) \qquad \pi = \frac{2P}{L}.$$

Enfin les formules (5) et (9) sont également applicables aux valeurs de l, comprises entre λ_2 et zéro, mais la valeur de μ_2 étant toujours supérieure à μ_1 ($4\,P_2 > o$, évidence), la formule (9) reste seule à considérer. On déduit de la combinaison des équations (9) et (c) :

$$(14) \qquad \pi = \frac{2P}{L}\left(2-\frac{l}{x}\right).$$

Afin de fixer les idées sur la relation qui existe entre l'avancement des charges 2P et l'oscillation de l'abscisse du moment fléchissant maximum, nous donnons ci-contre le croquis du circuit μ_m, dans l'hypothèse où les charges passent de la position *noir plein* symétrique par rapport

Fig. 7



aux appuis, à la position-limite *noir pointillé*. On a l $\lambda_2 >$ (fig. 7) : 1° La charge D passe de 0,75 à 0,70 ; le μ_m suit la courbe pleine dans le sens indiqué par la flèche ; 2° la charge D passe de 0,70 à 0,60, le μ_m

suit la courbe (—. —. —) dans le sens indiqué par la flèche; 3° la charge D passe de 0,60 à 0,50, le μ_m suit la courbe (—.. —.. —..) dans le sens indiqué par la flèche.

Le circuit μ_m est fermé, c'est-à-dire que le moment fléchissant, minimum des maximum, situé dans la section milieu de la poutre, lorsque les charges sont symétriques par rapport aux appuis, est égal au maximum sous l'une des charges, lorsque celle-ci passe dans la section milieu de la poutre. — Ce résultat se démontre directement en appliquant le calcul aux deux positions indiquées.

Nous observerons, d'après les formules (12), (13) et (14), que la première est inférieure à la seconde $\frac{2P}{L}$, tandis que la troisième lui est supérieure; d'autre part, nous avons trouvé que la valeur π, relative à la charge P, s'avançant *seule* sur le pont, est précisément égale à $\frac{2P}{L}$; nous devrons donc, dans les applications, négliger l'hypothèse de deux charges distinctes, et considérer une charge *unique*, dès que nous rentrerons dans la condition (12).

Trois, quatre et six charges P. Les formules π ne présentent rien de remarquable, si ce n'est les limites des valeurs l, pour lesquelles elles sont applicables. (Voir le tableau n° 5.)

On a pu constater, au tableau n° 4, des différences considérables dans le poids des essieux, suivant les types de véhicules considérés; d'un autre côté, chacun sait combien les conditions d'exploitation sont variables d'une localité à l'autre; il serait donc irrationnel d'admettre un ensemble uniforme des charges P, dans l'estimation des valeurs π. Pour notre part, profondément convaincu que les ingénieurs sont les seuls juges des conditions de voirie auxquelles leurs ouvrages sont soumis, et que les hypothèses servant de bases aux calculs de mécanique doivent absolument être conformes aux faits, nous avons considéré comme variable non-seulement le nombre des essieux engagés sur la voie charretière, mais encore le poids même de ces essieux. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau n° 6 (PL. 10) et réunis dans les courbes de la Pl. 1 qui permettront, pour les portées et les charges intermédiaires, de toujours subordonner les calculs à la réalité [1].

Les conclusions des chiffres indiqués au tableau n° 6 sont les suivantes : 1° Pour les portées comprises entre 1 et 6 mètres l'hypothèse l'un seul essieu, engagé sur la voie charretière conduit à une valeur de π

1. La courbe-enveloppe N° 2 ($P = 11000^k$ et $2P = 16000^k$; PL. 8) satisfait à l'ordonnance du 15 juin 1869.

plus élevée que l'hypothèse de deux essieux ; 2° pour les parties comprises entre 6 et 20 mètres, il convient de considérer deux essieux; 3° pour les portées de 20 à 25 mètres, trois essieux; 4° de 25 à 30 mètres, quatre essieux; 5° de 30 à 40 mètres, six essieux; 6° le rapport K, des surcharges π aux charges distinctes ramenées au mètre courant de voie charretière,

$$\frac{P}{L}, \quad \frac{2P}{L} \ldots\ldots \quad \frac{6P}{L},$$

augmente lorsque le rapport de l'espace occupé par les charges P à la portée L diminue; en d'autres termes, la plus grande fatigue, toutes choses égales d'ailleurs, répond au cas où les charges P sont le plus resserrées, — résultat déjà indiqué aux calculs des PI.

L'application des valeurs π, la plus intéressante au point de vue qui nous occupe, est leur comparaison aux surcharges réglementaires d'épreuve, d'où il ressortira que les surcharges d'exploitation déterminent ou non des moments fléchissants supérieurs à ceux qui résultent des surcharges du contrôle comptées à raison de 400 kilos par mètre superficiel de chaussée.

Soit donc, comme exemple pris arbitrairement, à calculer un pont de 7 mètres de largeur droite, et de 14 mètres de portée; la surcharge d'exploitation se compose de deux voitures contiguës, à deux essieux, pesant chacune 7,000 kilog. Nous supposons l'ossature du tablier formée de deux poutres de rive maintenues par des entretoises, de sorte que chacune des poutres portera la moitié du pont. Le poids π, uniformément réparti, de même effet que les charges coulantes, doit être compté, d'après la courbe n° 3 :

$$\pi = 1600 \text{ kilog.},$$

tandis que dans les mêmes conditions d'établissement, la surcharge réglementaire d'épreuve serait seulement

$$\pi' = 2{,}50 \times 400 = 1000 \text{ kilog.}$$

On a donc :

$$\frac{\pi'}{\pi} = 0{,}62.$$

Pour un pont de 4 mètres de largeur seulement, toutes choses égales d'ailleurs, on trouverait :

$$\pi = 800 \text{ kilog. et } \pi = 2{,}70 \times 400 = 1080 \text{ kilog.};$$

d'où :

$$= 1{,}35.$$

L'écart considérable de ces deux rapports est inadmissible, et comme de nouveaux exemples ne feraient qu'affirmer davantage les divergences des valeurs π et π', l'adoption, dans les calculs, de la constante 400 kil. par mètre superficiel de chaussée doit être écartée d'une manière absolue, sous peine de ne donner aux ouvrages qu'une sécurité apparente, et de leur enlever toute uniformité de résistance.

Ainsi et en définitive l'application des courbes π, soit aux PI, soit aux PS, amène à la conclusion commune que les surcharges d'épreuve, indiquées par le contrôle, ne sauraient être considérées dans aucun cas, comme équivalentes aux surcharges d'exploitation, et qu'elles devraient être prescrites d'une manière absolue du moment où l'on voudra se préoccuper de faire des ouvrages pour résister convenablement aux charges qu'ils auront à supporter plutôt que pour satisfaire à des calculs administratifs.

Note. — Depuis le 19 mars, où je fis à la Société une communication *succincte* de cette étude sur les surcharges à considérer dans les calculs des ouvrages, une ordonnance ministérielle, en date du 15 juin 1869, a *posé en principe* que les ponts métalliques devaient satisfaire aux conditions de liberté de roulage, admises par les lois et règlements du *10 août 1852*, et être calculés en conséquence. Je dois donc retirer les observations qui m'avaient paru motiver les anciennes surcharges indiquées par le contrôle pour servir de bases à l'établissement des projets.

L. L.

Novembre 1869.

NOTE

SUR LE POIDS PAR MÈTRE COURANT

DES

POUTRES EN FER A DOUBLE T

D'APRÈS LEUR MOMENT DE RÉSISTANCE

PAR M. LEYGUE.

Lorsqu'on aborde les formules de flexion dans leurs applications aux poutres droites, une des premières quantités que l'on ait à déterminer est la charge maximum par mètre courant de longueur. Cette charge se compose de trois éléments : le poids propre de la poutre, le poids de la construction à maintenir et les surcharges accidentelles. Les deux dernières valeurs sont des données immédiates de la question, tandis que la première est au contraire une inconnue *à priori*. Le plus souvent on se contente d'appliquer au poids des fers un chiffre pris un peu au hasard, sauf à vérifier plus tard que le poids définitif n'est pas trop différent de celui qu'on a supposé.

Cette méthode, parfaitement exacte, laisse cependant à désirer, en ce sens que procédant par approximation, un double calcul devient inévitable toutes les fois qu'on n'a pas à sa disposition des ouvrages auxquels la construction projetée puisse être comparée. Dès lors il y aurait une certaine importance à déterminer, entre le poids des fers à double T et le moment d'inertie de leurs sections, une relation simple, qui, permettant d'écrire directement l'équation complète des moments de flexion, supprimerait d'une manière absolue l'arbitraire des données.

Nous nous sommes donc proposé la recherche d'équation :

$$p = f\,(\mathrm{I}) = f\,(\mu_m)\,(*),$$

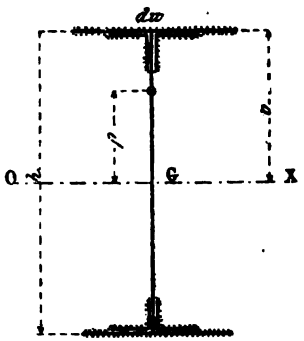
et comme nous avons rencontré, dans cette étude, des faits remarquables et cependant assez peu connus, nous avons pensé à en faire l'objet d'une note que la Société entendra peut-être avec quelque intérêt.

(*) Voir la signification des lettres, page 291.

Le problème du poids des poutres, défini tel que nous venons de l'indiquer, paraît à première vue très-compliqué, par le grand nombre des éléments qui entrent dans la composition des fers à double T. On sait, en effet, avec quelle influence pèse en première ligne, sur le moment d'inertie, la hauteur et l'épaisseur de l'âme, et en seconde ligne, la largeur et l'épaisseur des tables et des ailes de cornières. Toutefois l'examen successif de certains groupes de fers, présentant entre eux des caractères généraux, rend à la question la simplicité que lui enlève la considération simultanée de toutes les quantités variables. Partant de ce principe, nous avons scindé l'étude de la fonction p en trois parties : 1° variations de p pour des hauteurs et des épaisseurs d'âme constantes; 2° variations de p pour des hauteurs d'âme variables, toutes choses égales d'ailleurs; 3° variations de p pour des épaisseurs d'âme variables, toutes choses égales d'ailleurs.

Considérons le profil d'un fer à double T quelconque, dont la section serait représentée par le croquis ci-dessous, et désignons par :

Δ, le poids du mètre cube de fer (7800^k);
R, la limite des efforts longitudinaux, pressions ou tensions (6000000^k);
Ω, la section du fer;



ρ, le rayon de giration, relativement à OX;
μ, le moment de résistance:
p, le poids du mètre linéaire.

Imaginons dès lors un accroissement de section élémentaire, donné aux ables et aux cornières, et soient :

$d\omega$, l'accroissement du Ω qui en résulte;
t $d\rho$, l'accroissement correspondant du rayon de giration :

On pourra écrire, sans erreur sensible :

$$(\Omega + d\omega)\ (\rho + d\rho)^2 = \Omega\rho^2 + d\omega\ (v - a)^2.$$

a, représentant un coefficient numérique, que nous avons estimé d'après les résultats fournis par un grand nombre de profils (1500 environ), à $0^m,03$; développant, on trouve :

$$2\,\Omega\,\rho\,d\rho + d\omega\,\rho^2 = (v-a)^2\,d\omega.$$

Intégrant les deux membres :

$$(1) \qquad \Omega\,\rho^2 + C = (v-a)^2 \int d\omega.$$

D'autre part, on a :

$$(2) \qquad \Omega\,\rho^2 = \frac{\mu v}{R} \qquad \text{et} \qquad \Delta\,d\omega = dp.$$

Combinant les équations (1) et (2), on trouve :

$$\frac{\mu v}{R} + C = \frac{(v-a)^2}{\Delta}\int dp = \frac{(v-a)^2}{\Delta}\,p,$$

d'où l'on déduit :

$$(3) \qquad p = \frac{\Delta}{R}\cdot\frac{v}{(v-a)^2}\cdot\mu + \frac{\Delta C}{(v-a)^2} = A\mu + B.$$

Ainsi, pour une même hauteur, $2v$, le poids des poutres, au mètre courant de longueur, varie suivant les ordonnées d'une droite dont A est le coefficient angulaire et B la constante à l'origine.

Observons cependant, qu'ayant assigné à la lettre a une valeur constante, la relation

$$p = A\mu + B$$

n'est pas rigoureuse, mais seulement suffisante; le degré d'exactitude augmentera d'ailleurs avec la hauteur des fers considérés.

Si nous représentons graphiquement la fonction

$$A - \frac{\Delta}{R}\,\frac{v}{(v-a)^2} = o,$$

en prenant les valeurs A pour ordonnées, et les hauteurs $2v$ pour abscisses, nous obtiendrons une hyperbole asymptotique aux droites rectangulaires $Y = o$ et $X = 0{,}03$. Si la constante a était négligeable devant v, on aurait plus simplement :

$$Av = \frac{\Delta}{R} = 0{,}0043,$$

hyperbole équilatère se raccordant avec la précédente.

Dans un cas comme dans l'autre, la détermination de A sera toujours facile, pour une hauteur de poutre donnée.

Quant à la constante B, on ne saurait présumer à l'avance ou par l'équation (3) de quelle façon elle dépend de la hauteur v; mais une simple application de cette même formule suffit à la définir pour chaque groupe de même hauteur. Nous étant donc donnés *à priori*, pour des valeurs progressives de v, les sections et par conséquent les poids d'un certain nombre de poutres, nous avons calculé leur moment d'inertie, leur moment de résistance et les valeurs A correspondantes; enfin, à l'aide de ces nouvelles données, nous avons déterminé, pour chaque hauteur considérée, la constante

$$B = p - A\mu.$$

Or ces différences, réunies sous forme de loi, sont représentées par la droite :

$$B = c + bv = -16 + 120.v, \tag{4}$$

résultat remarquable par sa simplicité; la formule (4) n'est exacte qu'à partir de

$$v = \frac{0{,}40}{2} = 0{,}20,$$

car, au-dessous de cette limite, la constante $a = 0{,}03$ cesse d'être applicable.

En résumé, si l'on n'avait jamais à considérer que des poutres dont l'épaisseur d'âme fut de $0^m{,}01$, base constante des calculs précédents, la formule du poids du fer au mètre courant serait de la forme :

$$p = 0{,}0013\ \mu\ \frac{v}{(v-o)^2} + 120\ v - 16; \tag{5}$$

encore devrait-on en limiter les applications aux poutres dont les hauteurs excéderaient $0^m{,}40$ et dont les moments de résistance seraient supérieurs à 6,000, car la formule (5) ne tient pas compte des épaisseurs de tôle minima devant lesquelles on s'arrête en pratique.

Cependant il est utile, pour les poutres un peu hautes, de donner aux âmes plus de $0^m{,}01$ d'épaisseur, et, dans les poutres évidées, la quantité de matière employée aux treillis est mathématiquement double de celle des âmes pleines qu'ils remplacent; l'égalité (5) est donc trop exclusive, et il convient de généraliser la formule (3) en y introduisant comme variable les surépaisseurs d'âme au-dessus de $0^m{,}01$.

Dès lors, si l'on remarque que le fer réunissant les tables ne sert qu'à transmettre les efforts et ne donne qu'un accroissement très-faible ou

même nul (treillis) au moment d'inertie de la section, on pourra se convaincre aisément que le coefficient angulaire de la droite B est seul influencé par les variations d'épaisseur d'âme. Si donc on représente par π le poids du mètre carré de fer sur $0^m,001$ d'épaisseur et par m la surépaisseur d'âme au dessus de $0^m,01$ en millimètres, on aura pratiquement :

$$B = c + bv + 2m\pi v = c + (b + 2m\pi)v. \tag{6}$$

La formule générale du poids des fers sera donc :

$$p = 0{,}0013\ \frac{(v-a)^2}{v}.\ \mu + (120 + 15{,}6\,m)v - 16. \tag{7}$$

Quoique cette formule soit fort simple, nous avons pensé qu'il serait préférable dans les applications de s'en tenir à la formule (3), et nous avons, dans ce but, traduit sous forme de courbes les constantes A et B qu'elle contient, en prenant pour abscisses les hauteurs de poutres de $0^m,40$ à $4^m,50$. (PL. 9).

Il est souvent utile de connaître *à priori*, pour une hauteur de poutre déterminée, les moments minimum et maximum qu'on peut obtenir tout en restant dans les limites de profils généralement adoptés. Cette question, bien entendu, n'a rien d'absolu ; aussi pensons-nous ne devoir y répondre que par une indication sommaire.

Considérons à cet effet deux poutres dont les poids et les demi-hauteurs seraient respectivement p, $p+dp$ et v, $v+dv$; la différence dp, pour une même valeur du moment fléchissant, est représentée par

$$dp = 0{,}0013\ \mu d\left[\frac{v}{(v-a)^2}\right] + b\ dv.$$

Dès lors si nous posons $dp = o$, nous aurons :

$$0{,}0013\ \mu\left[\frac{(v-a)^2\ dv - 2v\ (v-a)\ dv}{(v-a)^4}\right] + b\,dv = o,$$

d'où :

$$\mu = \frac{b\ (v-a)^2}{0{,}0013\ (v+a)} = 92300.\ \frac{(v-a)^2}{v+a}. \tag{8}$$

Cette valeur μ sera le moment fléchissant minimum, applicable à la poutre de hauteur $h = 2v$.

D'autre part, si nous désignons par n le plus grand rapport qui puisse exister entre les deux poids extrêmes d'une série de poutres de même hauteur, nous aurons, pour déterminer le plus grand moment de flexion dont est capable cette section, la relation suivante :

$$A\mu_1 + B = n\ (A\mu + B);$$

d'où

$$(9) \qquad \mu_2 = \frac{(n-1)\,B}{A} + n\mu.$$

Les formules (8) et (9) appliquées à des poutres de hauteurs variables entre 0m,40 et 5 mètres ont donné les chiffres consignés au tableau suivant. On trouvera de plus, à la planche 9, les courbes μ_1 et μ_2, qui permettront de saisir, en un seul coup d'œil, les limites $\mu_1 - \mu_2$, relatives à une hauteur de poutre imposée, ou inversement, les limites de hauteurs pour une valeur déterminée du moment de flexion.

HAUTEURS $2v$.	MOMENTS μ_1		COEFFICIENT PRATIQUE n.	MOMENTS MAXIMUM μ_2. Form. 9.	OBSERVATIONS.
	THÉORIQUES Form. 8.	PRATIQUES			
0,40	1970	6000	4,5	30000	Le désaccord, que présentent pour les poutres basses les μ théoriques et pratiques, provient des limites inférieures d'épaisseur de fer au-dessous desquelles il ne convient pas de descendre dans une bonne construction.
0,80	10900	15000	3,8	79400	
1,20	27700	31000	2,8	128700	
1,60	52600	»	2,5	200000	Lorsque a est négligeable devant v (poutres hautes) les formules (8) et (9), deviennent :
2,00	86000	»	2,3	300000	
2,50	130000	»	2,25	450000	(8)′ $\mu_1 = \frac{B}{A}$.
3,00	180000	»	2,20	619000	
4,00	334000	»	2,00	1000000	(9)′ $\mu_2 = (2n-1)\frac{B}{A}$.
5,00	535000	»	1,82	1400000	

L'usage de l'équation (3) dans les calculs des ponts métalliques est l'application la plus directe et en même temps la plus intéressante qui puisse être faite de la formule $p = A\mu + B$. En effet, le poids des ossatures de ces ouvrages est souvent considérable, et il importe que sa valeur figure exactement dans les équations d'élasticité.

Soit considérée une poutre de longueur L, posée sur deux appuis de niveau, dont la charge permanente et la surcharge d'exploitation réunies donneraient une valeur P; le moment maximum, situé dans la section milieu de la poutre, aura pour expression, dans l'hypothèse de section uniforme :

$$\mu = \frac{1}{8}(P+p)\,L^2;$$

cette valeur combinée avec l'équation (3) donne :

$$p = \frac{APL^2 + 8B}{8 - AL^2}, \tag{10}$$

et par suite on a :

$$\mu = \left(\frac{P + B}{8 - AL^2}\right) L^2. \tag{11}$$

Nous avons admis que la section de la poutre était constante dans toute son étendue, bien que les moments de flexion dussent varier suivant une parabole dont les ordonnées, maximum au milieu de la travée, seraient nulles aux appuis; pour tenir compte de l'influence de cette différence des efforts moléculaires, il nous suffira d'écrire, en désignant par Π le poids total de la poutre, et p son poids moyen sur l'unité de longueur :

$$\int dp = A \int \mu \, dx + B \int dx,$$

d'où :

$$\Pi = A \left[\frac{1}{8}(P + p) L^2 . \frac{2}{3} L\right] + BL.$$

Cette formule suppose que les moments de résistance sont nuls ou presque nuls aux appuis; cela ne pouvant avoir lieu en pratique, il convient de forcer un peu la quadrature $\int \mu \, dx = \frac{2}{3} \mu_m L$, et de remplacer le coefficient $\frac{2}{3}$ par $\frac{4}{5}$. Ainsi on aura :

$$\Pi = A \left[\frac{(P + p) L^3}{10}\right] + BL.$$

Le poids moyen sera donc :

$$p = \frac{A L^3}{10}(P + p) + B = \frac{APL^3 + 10B}{10 - AL}, \tag{12}$$

et, par suite, le moment fléchissant maximum aura pour valeur :

$$\mu = \frac{5}{4}\left[\frac{P + B}{10 - AL^2}\right] L^2. \tag{13}$$

On remarquera que pour une certaine valeur de L, les dénominateurs des équations (10), (11), (12) et 13) deviennent nuls, en sorte que les poutres, dont les moments sont dès lors infinis, auraient également un poids infini, et que la construction serait impossible. Il y a donc une limite pour

la portée L d'une poutre à double T, soutenue par deux appuis simples. On la déduira de l'annulation des dénominateurs $8 - AL^2$ et $10 - AL^2$, dans lesquels il conviendra de faire $A = \frac{0{,}0026}{h}$, car la constante a est devenue forcément négligeable devant $2v$. Tous calculs faits, on trouve :

Poutres à section constante, limite $L = \sqrt{3077.\ h.}$

Poutres à sections variables, limite $L = \sqrt{3850.\ h.}$

La proportion 1/10, généralement admise pour les poutres entre la hauteur et la longueur, conduirait aux portées-limites 307m,7 et 385 mètres, mais ces valeurs, répondant à des hauteurs de fer de 30m,77 et 38m,50, doivent être rejetées ; et il devient préférable de se fixer à l'avance la hauteur maximum qu'on ne doit pas dépasser : 10 mètres, par exemple. On arrive, dans ces nouvelles conditions, aux limites inférieures 175 et 196 mètres.

M. E. Collignon, dans son intéressant mémoire sur les poutres en treillis, traitant du sujet qui nous occupe, donne des résultats légèrement inférieurs :

$\frac{h}{L} = \frac{1}{10}$. Portée-limite, L = 263 mètres.

h = 9 mètres. — L = 161 —

Il est vrai de dire que M. Collignon tient compte des rivures couvre-joints, etc., pour 1/3 du poids des poutres ; dans l'hypothèse du rapport plus faible 1/4, l'équation (12) modifiée devient :

(14) $$p = \frac{APL^2 + 10B}{8 - AL^2}$$

d'où l'on déduit :

$\frac{h}{L} = 1/10$. Portée-limite, L = 307m,7

h = 9 mètres. — L = 166 mètres.

Les formules précédentes, auxquelles il conviendrait d'ajouter la valeur :

(15) $$p = \frac{APL^2 + 12{,}5B}{12.5 - AL^2},$$

applicable aux portes à sections variables, dans le cas où le travail-limite moléculaire est élevé de 6 kilog. à 7k,5 (poutre intermédiaire de PI),

donnent la solution directe du problème des poutres, tel que nous l'avions défini au commencement de cette note.

Ici se terminerait donc l'étude du poids des fers en double T, s'il ne nous avait pas paru intéressant, au point de vue pratique et aussi à titre de vérification, de nous servir de ces mêmes formules pour en faire une application générale au poids des fers, par 1^{m2} de tablier, dans les passages supérieurs et inférieurs.

Les données qui nous ont servi de bases, dans ces calculs numériques, ont été relevées sur les ouvrages du réseau du Nord; elles peuvent se résumer ainsi :

1° Travail-limite des poutres et des entretoises, 6 kil. par 1^{mm2};

2° — des poutres intermédiaires de PI, $7^k,5$;

3° Rapport $\frac{h}{L} = 1/8$;

4° Charge permanente par 1^{m2} de tablier, non compris les fers.
- Tabliers maçonnés. . } PI, 1200^k ; PS, 1200^k
- Tabliers en bois. . . } PI, 400^k ; PS, 600^k

5° Charges accidentelles : charges d'exploitation (*).

6° Hauteur des entretoises, $h = 0^m,35$; section uniforme

$$p = \frac{A P L^2 + 8 B}{8 - A L^2};$$

7° Section variable des poutres :

Poutres à $6^k,0$.... $p = \frac{0,0208\ P L^2 + 5\ (L - 0,48)^2\ (15 L - 32)}{10\ (L - 0,48)^2 - 0,0208\ L^2}$.

Poutres à $7^k,5$.... $p = \frac{0,0208\ P L^2 + 6,25\ (L - 0,48)^2\ (15 L - 32)}{12,5\ (L - 0,6)^2 - 0,0208\ L^2}$.

8° Coefficient devant tenir compte de couvre-joints, rivures, etc....

$$\frac{1}{4} \cdots\cdots \frac{1}{5}.$$

Quant aux résultats obtenus, nous renvoyons, planche 9, aux deux courbes à asymptotes verticales, qui en sont la représentation graphique

(*) Voir la note sur les surcharges à considérer dans les calculs des Tabliers métalliques datée 1869.

et nous avons la satisfaction de pouvoir dire que nous n'avons rencontré que des différences pratiquement négligeables entre les valeurs données par ces courbes et les poids relevés directement aux usines de construction, pour tous les ouvrages compris entre les limites de portées, 4^{m},00 et 50 mètres.

Les calculs résumés graphiquement (PL. 9), ont été dirigés dans la donnée de tabliers avec voûtes en briques (PS et PI); les mêmes courbes, relatives aux tabliers en bois, resteraient au-dessous des précédentes de $\frac{1}{5}$, pour les portées de 30 mètres et les différences d'ordonnées décroîtraient progressivement jusqu'aux origines, où les poids sont nuls quelque soit la nature des tabliers.

NOTE

SUR LE

SERVICE DE TRACTION

DES CHEMINS DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE

ET

EN PARTICULIER SUR L'EXPLOITATION DU SEMMERING ET DU BRENNER EN 1868.

PAR M. A. GOTTSCHALK.

Le bon accueil qu'a reçu ma note de l'année dernière, sur le service du matériel et de la traction des chemins du Sud de l'Autriche pendant l'exercice 1867, m'engage à continuer les communications annuelles faites sur le même sujet à la Société des ingénieurs civils, en lui faisant part des résultats obtenus en 1868, d'autant que ces derniers dépassent ce que l'on pouvait prévoir après les économies réalisées sous l'habile direction de mon prédécesseur, M. Desgrange.

Un intérêt nouveau se joint à l'appréciation des résultats généraux; c'est celui de pouvoir commencer pour 1868 la comparaison entre les dépenses de traction du Semmering et celles du Brenner, deux sections qui, au point de vue des difficultés d'exploitation, ne le cèdent à aucune autre du réseau européen.

Pour rendre le travail de comparaison plus facile, j'adopterai l'ordre suivi dans ma note de l'an dernier.

LIGNE PRINCIPALE DE VIENNE A TRIESTE ET SES EMBRANCHEMENTS.

Les résultats obtenus pour la ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements se trouvent indiqués dans le tableau n° 2, qui donne en même temps la comparaison des dépenses de traction et d'entretien du matériel sur ces mêmes lignes depuis 1860 jusqu'à 1868.

La dépense par kilomètre de train ressort pour cette dernière année à 0f.876, accusant de la sorte une réduction de 9.8 p. 100 sur la dépense correspondante de 1867 et une réduction de 56.1 p. 100 sur celle de 1860; ce résultat n'est comparable qu'à celui de l'année 1866 qu'il dé-

passe encore, bien que, comme il y avait lieu de le prévoir, les dépenses d'entretien du matériel aient subi depuis lors une augmentation importante.

Cette augmentation tient à ce que, ainsi que nous l'avons déjà dit, le matériel n'est pas encore entré dans la période des réparations normales.

Le chapitre *entretien des machines* a été chargé des dépenses de reconstruction de quatre machines-tenders, transformées en machines à tenders séparés dans nos ateliers et mises en service pendant l'exercice 1868.

On y a appliqué également les dépenses de remplacement d'un grand nombre de bandages en acier puddlé par d'autres en acier fondu, ces derniers ayant obtenu la préférence pour toutes nos machines indistinctement.

Quant à l'augmentation considérable des dépenses d'entretien de nos wagons, elle tient en grande partie au travail extraordinaire que ces derniers ont accompli en 1867, en allant porter les blés de Hongrie par toute l'Europe occidentale, et à la grande quantité de bandages qu'il a fallu changer et que nous avons en partie remplacés par des bandages en acier Bessemer d'une valeur d'environ 30 p. 100 supérieure à celle des anciens bandages en fer.

Toutes les réductions de dépenses obtenues depuis 1867 portent donc entièrement sur les chapitres *conduite*, *combustibles*, *alimentation* et *frais généraux*, pour lesquels nous pensons toucher aux dernières limites.

La répartition des économies entre les différents chapitres de dépenses étant ainsi bien constatée, il s'agit, pour démontrer que l'économie totale faite sur la dépense par kilomètre de train est bien réelle, de faire voir qu'elle n'a pas été obtenue par une réduction du travail effectué.

Pour apprécier plus exactement les progrès réalisés dans ces dernières années, nous avons été conduits, dès le commencement de 1868, à faire un travail analogue à celui présenté d'une manière si intéressante par M. l'Ingénieur en chef Marié, dans son compte rendu des opérations du service du matériel et de la traction des chemins de Paris à Lyon et à la Méditerranée pour l'exercice 1867.

Nous n'avons pu choisir comme lui pour unité nouvelle le kilomètre de wagon, par la raison que nous possédons des véhicules à 4, 6 et 8 roues dont la tare et le chargement sont essentiellement variables, et d'ailleurs il nous a paru plus exact encore de rapporter toutes nos dépenses à la tonne kilométrique de charge brute remorquée.

Depuis longtemps déjà les primes d'économie de combustible étaient réglées sur cette base; il était donc tout naturel d'adopter la même unité pour apprécier toutes les dépenses de traction.

Le tableau n° 1 indique le résumé de nos opérations pendant l'exer-

cice 1868, et donne pour les années 1865 à 1868 la comparaison des nombres d'essieux entrant dans la composition des trains moyens, des chargements bruts moyens des différentes espèces de trains et de ceux des trains moyens, des sommes des travaux effectués en tonnes kilométriques et enfin des prix de revient du service par tonne kilométrique de charge brute remorquée.

Il en résulte que la charge brute du train moyen a été en 1868 de 189t.8, tandis que le chiffre correspondant de 1867 était de 177t.36, soit une augmentation de 12t.4 ou de 7 p. 100.

Remarquons de suite que cette augmentation porte entièrement sur la charge utile, car le nombre d'essieux du train moyen n'a pas varié sensiblement dans ces deux années, et il a même diminué en 1868 pour les trains de marchandises. On ne peut donc pas dire que l'économie réalisée en 1868 tienne à une réduction du travail effectué, car non-seulement le train moyen a coûté moins cher, mais il a été plus chargé, d'où une double économie.

On voit, en effet, dans le même tableau que le prix de revient de traction et d'entretien du matériel par tonne kilométrique de charge brute remorquée a été, pour l'exercice 1868, de. 0f.004615
résultat qui accuse sur le chiffre analogue de 1867 une réduction de près de. . . . . 16 %
tandis que pour le prix de revient du kilomètre du train correspondant, la réduction n'est que de. . . . 9.8 %

Le prix de revient de la tonne kilométrique de charge remorquée donne évidemment une meilleure appréciation des progrès faits en 1868.

Il est tellement réduit et il tient à un concours de circonstances tellement favorables, parmi lesquelles il faut citer un grand trafic dans les deux sens et un hiver peu rigoureux, qu'il est bien douteux de pouvoir le maintenir.

SECTION DU SEMMERING.

Les résultats obtenus pour la traction du Semmering en 1868 se trouvent résumés dans les tableaux 3, 4, 5 et 6 qui donnent en même temps leur comparaison avec les résultats analogues des années précédentes.

Comme pour la ligne principale, les dépenses de 1868 pour cette section sont bien inférieures à celles des années précédentes et ne peuvent guère se comparer qu'à celles de l'année 1866.

Elles ne dépassent ces dernières qu'en ce qui concerne le graissage et la réparation des voitures et wagons ; toutes les autres sont notablement inférieures, et si le trafic continue à se développer, nous ne pouvons prévoir d'augmentation que pour les dépenses d'entretien des machines,

bien que ce chapitre contienne déjà pour 1868 les frais de reconstruction d'une machine à voyageurs à 6 roues couplées.

Bien que la consommation de combustible par kilomètre de train ait augmenté par suite d'un chargement des trains mieux réparti dans les deux sens, le prix de revient du combustible a subi une diminution importante qui provient de ce que nous avons employé au Semmering, concurremment avec le lignite de Léoben, un lignite de la Basse-Styrie coûtant moins cher relativement à sa puissance calorifique. En 1867, au contraire, nous avions été obligés par les circonstances de recourir à la houille de Silésie qui nous est revenue à un prix très-élevé.

Le parcours total des trains a été en 1868 de 374672k.5, qui se répartissent comme suit :

1° Trains de voyageurs, remorqués par des machines à 6 roues couplées	98185k.6
2° Trains de marchandises remorqués par des machines à 8 roues couplées.	276486k.9
Total égal.	374672k.5

Le prix de traction ressort à. 1f.386
le kilomètre pour un train de voyageurs traversant le Semmering en une fois, et à. 2f.772
pour un train de marchandises traversant en deux fois.

Ces résultats accusent une réduction de 51.3 p. 100 sur ceux de l'année 1860, alors que les machines n'avaient pas encore été transformées.

Les dépenses d'entretien de la voie ont atteint en 1868 la somme de 322607f.50[1], y compris 33685 fr. pour les frais de surveillance, ce qui correspond à une depense de 0f.860 par kilomètre de train.

Enfin, en appliquant aux trains de Semmering — pour comparer avec ce qui s'est fait les années précédentes les dépenses moyennes du service du mouvement et de l'administration générale, on trouve que le kilomètre de train a coûté :

Pour les trains de voyageurs.	3f.096
— — marchandises.	5f.342

Le tableau n° 6 donne ces résultats ainsi que ceux des autres sections de la ligne et leur comparaison avec les résultats obtenus en 1867.

1. La dépense de 322.607 fr. 50 c. pour l'entretien et la surveillance de la voie du Semmering pendant l'exercice 1868 comprend une plus-value de. 57.257f 50c
pour remplacement des rails anciens en fer par des rails en acier Bessemer.
La dépense de 1868 à comparer à celle de 1867 serait donc de. . . . 265.350 00
En 1867 cette dépense était de. 279.192 50

Les renseignements suivants dus à l'obligeance de M. Bolze, directeur de l'entretien et de

Pour en terminer avec ce qui concerne la section du Semmering, nous rappellerons que jusqu'en 1868 les trains de marchandises avaient toujours été divisés au pied de la rampe, et qu'on avait hésité à faire passer ces trains en une fois avec une machine en tête et l'autre en queue, à cause des courbes en S et des rayons de 180 mètres qu'on rencontre dans cette partie difficile du réseau.

Or, bien que nos attelages soient beaucoup plus forts que ceux des autres Compagnies, deux ruptures se sont produites au commencement de l'année 1868, et un accident grave faillit en résulter par suite de la descente de quelques wagons de la première moitié du train sur le second train de marchandises, descente due à une mauvaise manœuvre des freins par un personnel trop confiant.

Cette circonstance nous fit de nouveau apprécier combien il serait désirable, au double point de vue de la sécurité et de la moindre fatigue des attelages, de pousser les trains en queue, comme nous le faisons au Brenner depuis l'ouverture de la ligne et avec le plus grand succès; nous entreprîmes donc des expériences et, après nous être convaincus qu'il n'y avait aucun danger à agir au Semmering comme au Brenner, nous décidâmes de faire pousser chaque jour un train dans chacune des directions, pour habituer peu à peu le personnel; ces deux trains, un dans chaque direction, n'ont pas cessé d'être remorqués de cette manière depuis le mois de novembre dernier; aucun accident ne s'est produit et nous n'attendons plus que le changement de disposition des voies de garage au point culminant pour pousser tous les trains de marchandises indistinctement.

Pour compléter cette mesure, nous nous proposons d'appliquer peu

la surveillance de la voie et un des constructeurs du Semmering, présentent un grand intérêt. Ils donnent la comparaison entre les frais d'entretien et de surveillance par kilomètre de chemin exploité, tels qu'ils résultent d'une moyenne de 14 ans 1/2 et les dépenses des mêmes chapitres pour l'exercice 1868.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES DE DÉPENSES faites POUR LE CHEMIN DU SEMMERING.	MOYENNE DES DÉPENSES pendant 14 ans 1/2.		DÉPENSES DE 1868 par kilomètre de chemin exploité	OBSERVATIONS
	Totales.	Par kilomètre de chemin exploité.		
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	
Infrastructure	31625 00	757 97	557 94	
Superstructure	341325 00	8180 74	5096 34	
Bâtiments	20095 00	481 68	256 06	
Clôtures	4307 50	96 77	39 22	
Surveillance	51855 00	1242 84	807 40	
Travaux extraordinaires	16462 50	394 57	505 54	
Administration et conduite des travaux.	20000 00	479 35	479 50	
Totaux	485400 00	11633 87	7832 00	

à peu à toutes nos machines du Semmering le changement de marche à vis, et la disposition de M. Le Chatelier pour la marche à contre-vapeur.

LIGNE DU TYROL.

Nous avons dit l'année dernière pourquoi nous n'avions pas donné les résultats du service de traction sur la ligne du Tyrol pendant l'exercice 1867. D'une part, les sections du Tyrol Nord et Sud, qui n'étaient pas reliées, avaient un trafic relativement peu important; on n'y avait que peu de moyens pour faire les réparations du matériel; d'autre part, l'ouverture de la section du Brenner, qui avait eu lieu dans les derniers mois de l'année, avait apporté dans ces résultats des perturbations considérables, et dont il était difficile de se rendre compte.

Nous avons donc préféré attendre les résultats de 1868, ces derniers se trouvent résumés dans la première colonne du tableau n° 7 ci-joint, d'où ressort pour le kilomètre de train le prix de 1f.284.

Comparés aux résultats de la ligne principale de Vienne-Trieste et de ses embranchements, ils indiquent, comme il est du reste tout naturel, vu l'importance relative des trafics et vu les profils des deux lignes, des prix de revient supérieurs pour tous les chapitres autres que la réparation des machines.

C'est qu'en effet la plupart des machines employées dans les sections Nord et Sud du Tyrol avaient été, dès l'ouverture de la section du Brenner, remplacées par des machines neuves ou tout au moins par des machines sortant de grandes réparations.

Par contre, les voitures et wagons qui ne se trouvaient pas dans le même cas et qui n'avaient pu, faute de moyens suffisants, être réparés convenablement avant l'organisation des ateliers d'Innsbruck, ont donné lieu dès le début à des dépenses considérables.

Mais les prix de revient du Tyrol et de la ligne principale diffèrent surtout en ce qui concerne le chapitre du combustible.

Il faut, tout d'abord, tenir compte, dans l'appréciation de ces résultats, de l'influence des sections à forte rampe qui s'étendent, comme on sait, sur 125 kilomètres, la longueur totale de la ligne du Tyrol étant de 307 kilomètres; pour ce faire, nous avons séparé des dépenses de la ligne du Tyrol celles relatives à la section du Brenner, et des dépenses de la ligne principale et de ses embranchements celles de la section du Semmering; nous avons obtenu dès lors le tableau comparatif suivant qui donne pour les deux lignes les résultats par kilomètre de train dégagés de l'influence des sections à grandes rampes.

Prix de revient par kilomètre de train.

DÉSIGNATION des CHAPITRES DE DÉPENSES.	LIGNE PRINCIPALE de Vienne à Trieste et de ses embranchements moins la section du Semmering.	LIGNE DU TYROL moins la section du Brenner.	OBSERVATIONS.
1° Locomotives.			
Conduite	0.156	0.166	
Combustible	0.255	0.477	
Graissage	0.028	0.027	
Eau	0.004	0.008	
Réparations	0.158	0.116	
Frais généraux	0.048	0.067	
2° Voitures et Wagons.			
Réparations des voitures	0.060	0.141	
Réparations des wagons	0.114	0.126	
Graissage	0.016	0.006	
Frais généraux	0.014	0.018	
Totaux	0.853	1.152	

On voit que, sans parler du chargement moyen des trains qui est moindre au Tyrol que sur la ligne principale, on arrive pour le prix de revient du kilomètre de train à une différence de 0f.222 pour le combustible seulement; c'est qu'en effet la tonne de combustible brûlé en 1868 sur la ligne principale, en tenant compte de la puissance calorifique des différentes variétés de lignites que nous consommons, et transformant le tout en unités de coke de Witkowitz[1], nous est revenue en moyenne à 20 fr., tandis que le prix moyen de la tonne de combustible a été au Tyrol de 42f.22 pendant la même période.

Nous y avons employé concurremment des lignites de la Basse-Styrie et d'autres de la Haute-Autriche, du charbon de Pilsen, transporté de la Bohême par la Bavière, du charbon de Zwickau et enfin de la houille de Saarbrück.

Si nous avions pu avoir au Tyrol du combustible au prix où nous l'obtenons sur la ligne principale, nos dépenses de 1868 eussent été inférieures de 22 p. 100, c'est-à-dire ramenées à 0f.90 environ au lieu de 1f.152.

On peut juger par cet exemple de l'importance du rôle que joue le

1. La puissance calorifique du coke de Witkowitz qui nous sert de base de comparaison est environ celle de la houille anglaise.

prix du combustible dans les prix de traction en général et dans ceux du Tyrol en particulier.

Pour en terminer avec l'ensemble de la ligne du Tyrol, nous dirons que la composition et le chargement moyens des trains y ont été en 1868 les suivants :

DÉSIGNATION DES TRAINS.	NOMBRE D'ESSIEUX du train moyen.	CHARGEMENT du train moyen.	OBSERVATIONS.
		tonnes.	
Voyageurs	19	67	Le travail total en tonnes kilométriques de charge brute remorquée a été de 114.397.639.
Mixtes	24	86.2	
Marchandises	41.2	184.2	
Moyenne	27 8	112.1	

Le prix de revient de la tonne kilométrique de charge brute correspondant a été de 0f.011.426
tandis que sur la ligne principale il n'était que de . . 0f.004.615

SECTION DU BRENNER.

Nous sommes heureux de pouvoir constater que, malgré toutes les difficultés inséparables d'un début dans l'exploitation d'une section aussi importante que le Brenner, par la multiplicité de ses courbes de petits rayons et de ses rampes à grandes déclivités, malgré les sujétions qui sont résultées de la nécessité de parachever et de consolider certains ouvrages en cours d'exploitation, il ne s'est pas produit le plus petit accident sur le Brenner, depuis les dix-huit mois qu'il est livré à la circulation.

En dehors des soins tout spéciaux apportés par le personnel de tous les services, nous attribuons en partie la sécurité d'exploitation du Brenner à la mesure adoptée de pousser en queue les trains de marchandises et à l'emploi de l'appareil de M. Le Chatelier permettant la marche à contre-vapeur.

Dans plusieurs circonstances, l'usage de cet appareil, joint aux freins ordinaires, a permis à nos mécaniciens d'arrêter devant des obstacles vus ou signalés sur la voie sur un espace de 250 à 300 mètres avec des trains de voyageurs descendant sur des rampes de 0.025, à une vitesse de 15 à 25 kilomètres à l'heure.

Aussi avons-nous appliqué cet appareil à la plupart des machines du Tyrol, en cherchant à le simplifier autant que possible, pour en rendre

l'emploi plus facile et prompt, et surtout en réduisant le nombre des robinets, faisant ceux-ci à vis et les mettant tout à fait à la portée du mécanicien. Nos dépenses en sabots de frein pour les véhicules ne diminuent cependant pas d'une manière sensible; nous continuons à employer des sabots en bois de hêtre, après avoir constaté par des expériences que les bois de frêne et de chêne convenaient également bien; mais autant qu'il est possible de se prononcer après dix-huit mois d'exploitation, les sabots en fer paraissent devoir être plus économiques que ceux en bois et n'ont pas donné lieu jusqu'à présent aux inconvénients que nous redoutions dans le premier temps, alors que le personnel des trains n'était pas encore bien exercé, et notamment au desserrage des bandages.

Les expériences doivent être prolongées avant de pouvoir porter sur cette question un jugement définitif, tout au moins en ce qui concerne le matériel du Brenner.

Le tableau n° 7 donne les résultats obtenus pour la traction du Brenner en 1868, et les rapproche des résultats analogues des autres sections du Tyrol et de ceux de la ligne entière.

Afin de les rendre comparables aux résultats du Semmering présentés déjà depuis quelques années, nous avons dû faire la même hypothèse, c'est-à-dire compter pour deux trains tout train de marchandises remorqué au moyen de deux machines.

Dans ces conditions, le parcours total des trains sur le Brenner a été en 1868 de. 450297k.4

dont:

parcours des trains de voyageurs et mixtes.	201423k.5
— — marchandises.	248873k.9
Total égal.	450297k.4

Le prix de revient d'un train de voyageurs traversant le Brenner avec une machine a été de. 1f.45
et celui d'un train de marchandises passant en une fois avec deux machines dont l'une en tête et l'autre en queue. . 2f.90

Ces résultats sont assez favorables pour la première année d'exploitation et vu le peu d'importance relative du trafic de cette année. C'est ce qui ressort surtout de l'analyse que nous allons en faire, en comparant les dépenses du Brenner à celles du Semmering (voir les tableaux 3 et 7).

Ces dépenses sont mises en regard dans le tableau suivant :

Prix de revient par kilomètre de train.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES DE DÉPENSES.	DÉPENSES PAR CHAPITRE. DU SEMMERING.	DU BRENNER.	OBSERVATIONS.
1° Locomotives.			
Conduite	0.290	0.220	
Combustible	0.655	0.770	
Graissage	0.044	0.044	
Eau	0.009	0.012	
Réparations	0.223	0.126	
Frais généraux	0.033	0.070	
Total	1.254	1.242	
2° Voitures et Wagons.			
Réparations des voitures	0.047	0.093	
Réparations des wagons	0.071	0.099	
Graissage	0.011	0.004	
Frais généraux	0.003	0.012	
Total	0.132	0.208	
Total général	1.386	1.450	

Les frais de conduite sont plus faibles sur le Brenner que sur le Semmering, par la raison que la première section étant plus longue que la seconde, on peut mieux y utiliser le travail du personnel; autrement dit, un mécanicien du Brenner peut dans le même temps exécuter un parcours beaucoup plus long qn'un mécanicien du Semmering.

Les dépenses des combustibles sont beaucoup plus considérables au Brenner qu'au Semmering, bien que la charge du train moyen n'ait été au Brenner que de 100 tonnes, tandis qu'au Semmering elle a atteint 124t.9 et que les consommations de combustibles correspondantes aient été de 17k.2
par kilomètre de train sur le Brenner contre 24k
par kilomètre sur le Semmering.

Ce résultat tient uniquement au prix de revient du combustible plus élevé au Brenner qu'au Semmering, comme nous l'avons déjà vu.

En comparant les charges moyennes traînées dans les deux cas, aux consommations de combustible, on trouve que nous aurions dû brûler 19k.3 au lieu de 17.2 par kilomètre de train au Brenner, d'où l'on peut, jusqu'à un certain point, conclure que la consommation par kilomètre de train pour le trajet total sera moindre au Brenner qu'au Semmering

pour une même charge de train. Nous aurons du reste occasion de revenir sur la question.

Les frais de graissage de machines sont les mêmes dans les deux sections, ce qui n'a rien que de très-naturel.

L'eau d'alimentation des machines coûte plus au Brenner qu'au Semmering par suite d'un trafic relativement beaucoup plus faible.

Par la même raison, les frais généraux y sont également plus élevés.

Quant aux frais de réparation des machines, ils sont beaucoup plus faibles, par la raison que les machines sont neuves ou ont été remises en bon état avant leur envoi au Brenner.

En somme, l'ensemble des dépenses, applicables aux machines, par kilomètre de train a été inférieur au Brenner.

Quant aux dépenses relatives aux voitures et wagons, nous avons déjà expliqué pourquoi elles sont beaucoup plus importantes au Brenner qu'au Semmering.

En résumé, nous trouvons que le kilomètre de train au Semmering est revenu à 1f.386
tandis que le prix de revient correspondant du Brenner a été de 1f.150

soit de 4.6 °/₀ supérieur; ceci en ne tenant pas compte de la charge moyenne des trains qui a été environ de 28 p. 100 plus forte au Semmering qu'au Brenner.

Afin de pouvoir apprécier l'influence de la charge, nous avons, dans un dernier tableau n° 8, rapproché les résultats obtenus au Semmering et au Brenner et rapporté les dépenses à la tonne kilométrique de charge brute remorquée.

Il en ressort que le prix de revient de la tonne kilométrique a été au Semmering de. 0f.011098
tandis que le prix correspondant est de. 0f.014422
c'est-à-dire 30 p. 100 plus élevé au Brenner.

Il est facile de voir que de cette plus-value de 30 p. 100, 22 p. 100 sont imputables au prix plus considérable du combustible.

Le reste est applicable aux dépenses relativement plus grandes de réparations qu'il a fallu faire au matériel, voitures et wagons du Tyrol pour le remettre en état.

Cette dernière cause d'augmentation de dépenses disparaîtra au fur et à mesure qu'on rentrera pour les réparations dans l'état normal.

Les frais d'entretien des machines augmenteront; mais cette augmentation sera compensée par les diminutions qui résulteront pour les autres dépenses du développement toujours croissant du trafic.

Il ne restera plus ainsi qu'à se préoccuper d'obtenir au Brenner du combustible moins cher. C'est vers ce but que tendent nos efforts.

Toutes conditions égales d'ailleurs, il est probable, d'après ce qui

précède, que le prix de revient de la tonne kilométrique remorquée au Brenner sera par la suite inférieur au prix correspondant du Semmering.

Conclusion.

Nous terminerons cette note, en représentant dans le tableau ci-dessous, les divers prix de revient du kilomètre de train et de la tonne kilométrique de charge brute remorquée sur les deux lignes du Tyrol et de Vienne-Trieste, avec ses embranchements ainsi que sur les différentes sections de ces lignes.

TABLEAU *comparatif des prix de revient de traction et d'entretien du matériel par kilomètre de train et par tonne kilométrique de charge brute remorquée sur les différentes lignes et sections des chemins du Sud de l'Autriche.*

ANNÉE 1868.

DÉSIGNATION DES LIGNES ET SECTIONS.	PRIX DE REVIENT du kilomètre de train.	PRIX DE REVIENT de la tonne kilométrique.	OBSERVATIONS.
	fr.	fr.	
Ligne principale de VIENNE à TRIESTE et ses embranchements.....	*a.* 0.876	*c.* 0.004.615	Le prix de revient *a* diffère de 6 de 58 %, tandis que la différence entre les prix de revient *c* et *d* par tonne kilométrique est de 140 %.
Section du SEMMERING....	*b.* 1.386	*d.* 0.011.098	
Autres sections réunies de la ligne principale avec ses embranchements.....	0.852	0.004.431	
Ligne du TYROL.....	1.284	0.011.426	
Section du BRENNER.....	1.450	0.014.422	
Autres sections de la ligne du Tyrol.....	1.152	0.009.461	
Ensemble du réseau....	0.918	0.005.048	

Ce tableau fait voir du premier coup d'œil toute l'influence du profil du chemin sur le prix de revient de traction, et permet de juger combien la comparaison de deux prix de revient par kilomètre de train peut mener à des résultats erronés et différents de ceux obtenus, en faisant pour les mêmes cas la comparaison des prix de revient par tonne kilométrique remorquée.

Nul doute que la tonne kilométrique, qui est l'unité la plus rationnelle

pour apprécier les dépenses et les mesurer au travail réellement fait, ne soit avec le temps adoptée par toutes les Compagnies de chemins de fer, comme elle l'est déjà par quelques-unes.

C'est alors qu'on pourra faire avec une exactitude rigoureuse la comparaison des prix de revient de traction de ces différentes Compagnies, en tenant compte, bien entendu, des difficultés du profil des lignes et de la valeur du combustible, deux éléments qui ont sur les dépenses de traction une influence considérable, et qu'il n'est pas au pouvoir de l'ingénieur de maîtriser comme les autres.

N° 1. — Tableau comparatif

des charges totales remorquées sur la ligne principale de Vienne à Trieste et tous ses embranchements et des prix de revient de traction et d'entretien du matériel par tonne kilométrique de charge brute remorquée pendant les années 1865 *à* 1868 *inclusivement.*

ANNÉES.	Longueurs des lignes exploitées.	Parcours total des trains.	NOMBRE D'ESSIEUX PAR TRAIN.				CHARGEMENT BRUT MOYEN D'UN TRAIN.			
			Voyageurs.	Mixtes.	Marchandises.	Moyenne.	Voyageurs.	Mixtes.	Marchandises.	Moyenne.
	en kilom.	en kilom.					en tonnes.			
1865....	1526	5,964,955	27.4	36.1	50.5	43.6	94.55	134.9	221.6	177.4
1866....	1526	7,871,582	28.2	36.6	51.1	44.6	98.75	105.7	214.6	183.5
1867....	1580	7,362,289	24.8	37.4	51.4	42.1	85.90	152.0	226.9	177.35
1868....	1665	8,897,824	25.4	37.7	49.7	42.4	90.60	158.55	234.15	189.8

ANNÉES.	TRAVAIL TOTAL EN TONNES kilométriques	DÉPENSES TOTALES de traction et d'entretien DU MATÉRIEL.	PRIX DE REVIENT de la tonne kilométrique de charge totale.	PRIX DE REVIENT du kilomètre DE TRAIN.	OBSERVATIONS.
		en francs.	en francs.	en francs.	
1865....	1,058,224,000	5,828,929 97	0.005508	0.977	
1866....	1,444,133,000	7,030,292 25	0.004868	0.893	
1867....	1,305,630,000	7,162,841 77	0.005486	0.972	
1868....	1,688,503,000	7,795,568 83	0.004615	0.876	

N° 2. — État comparatif des dépenses de traction et d'entretien du matériel des années 1860 à 1868.

Ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements sur la Hongrie, la Carinthie, la Croatie et l'Italie.

1° Vienne-Trieste et embranchement de Lazenburg.....
2° Pragerhof-Ofen; Stuhlweissenburg-Uj-Szöny.....
3° Neustadt-Œdenburg-Kanizsa.....
4° Marburg-Villach.....
5° Steinbrück-Sissek; Agram-Carlstadt.....
6° Nabresina-Cormons (frontière italienne).....
7° Bruck-Leoben.....
8° Kanizsa-Barcs.....
} 1,665 kilomètres.

DÉTAILS DES PARCOURS ET DÉPENSES.	1860.	1861.	1862.	1863.	1864.	1865.	1866.	1867.	1868.	Réduction des dépenses de 1868 sur 1860.	OBSERVATIONS.
	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.		
Parcours des trains.....	3,990,493	5,542,559	5,345,937	4,551,630	5,145,561	5,964,955	7,871,582	7,362,289	8,897,824		
— des machines.....	4,561,279	6,078,358	5,701,966	4,797,530	5,442,219	6,299,816	8,434,024	7,680,649	9,364,576		
Excédant p. 100.....	14.30	9.66	6.66	5.40	5.76	5.61	7.14	5.67	5.24		
Parcours des véhicules.....	60,709,104	107,670,965	109,877,641	91,860,307	106,766,631	123,694,395	163,980,326	153,732,854	183,543,512		
Dépense de traction et d'entretien.....	7,958.366f, 92	8,505,802f, 00	7,698,344f, 85	5,883,419f, 10	5,562,529f, 75	5,822,529f, 97	7,630,295f, 25	7,163,844f, 77	7,795,568f, 83		LONGUEUR des lignes en exploitation.
Dépense par kilomètre de train.											k.
1° LOCOMOTIVES.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	0/0	1860. 723
Conduite.....	0.254	0.223	0.230	0.255	0.208	0.198	0.189	0.196	0.162	36.2	1861. 1,025
Combustible.....	0.828	0.685	0.549	0.454	0.367	0.323	0.297	0.295	0.271	67.5	1862. 1,150
Graissage.....	0.077	0.083	0.071	0.052	0.035	0.030	0.033	0.027	0.029	62.3	1863. 1,278
Eau.....	0.066	0.033	0.031	0.024	0.017	0.013	0.009	0.010	0.005	92.4	1864. 1,316
Réparations.....	0.351	0.236	0.269	0.203	0.188	0.166	0.151	0.189	0.160	54.4	1865. 1,526
Frais généraux.....	0.083	0.061	0.072	0.100	0.082	0.069	0.051	0.061	0.047	43.3	1866. 1,526
2° VOITURES & WAGONS.										—	1867. 1,580
Réparations des voitures.....	0.095	0.036	0.068	0.070	0.071	0.071	0.067	0.068	0.060	36.8	1868. 1,665
— des wagons.....	0.175	0.069	0.094	0.078	0.063	0.070	0.068	0.091	0.112	36.0	
Graissage.....	0.042	0.038	0.037	0.034	0.021	0.020	0.017	0.020	0.016	61.9	
Frais généraux.....	0.023	0.016	0.019	0.022	0.017	0.017	0.011	0.015	0.014	39.1	
Total par kilomètre de train.	1.994	1.480	1.440	1.292	1.069	0.977	0.893	0.972	0.876	—	
Réduction p. 0/0 sur 1860.	—	25.7 0/0	27.8 0/0	35.1 0/0	46.3 0/0	50.9 0/0	55.2 0/0	51.2 0/0	56.1 0/0	56.1 0/0	

N° 3. — CHEMIN DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

Section du Semmering.

État comparatif des dépenses de traction et d'entretien du matériel des années 1864 à 1868.

DÉSIGNATION des DÉPENSES.	Dépenses de 1864.		Dépenses de 1865.		Dépenses de 1866.		Dépenses de 1867.		Dépenses de 1868.	
	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.
1° Locomotives.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Conduite	103.289 47	0 355	100.297 58	0 363	121.214 08	0 309	111.687 10	0 338	108.632 93	0 290
Combustible	254.447 37	0 875	225.073 85	0 817	288.642 07	0 735	258.315 05	0 783	245.299 02	0 655
Graissage	14.181 28	0 049	11.505 52	0 042	17.041 22	0 043	13.143 47	0 040	16.420 83	0 044
Eau	7.547 35	0 026	5.807 20	0 021	5.338 05	0 011	4.594 53	0 014	3.515 00	0 009
Réparations des locomotives.	118.944 55	0 409	74.511 33	0 270	97.021 85	0 247	102.431 57	0 311	83.570 17	0 223
Frais généraux	18.168 95	0 062	17.755 82	0 064	18.290 50	0 047	18.070 50	0 054	12.395 35	0 033
Total	516.578 97	1 776	434.951 30	1 577	547.547 77	1 395	508.242 22	1 540	469.833 80	1 254
2° Voitures et wagons.										
Réparations des voitures	14.414 25	0 050	16.006 03	0 058	16.128 28	0 041	15.568 47	0 048	17.563 67	0 047
Id. wagons	12.083 83	0 042	12.666 47	0 046	18.412 15	0 042	20.114 63	0 061	26.910 85	0 071
Graissage	4.067 77	0 013	3.851 57	0 014	4.116 35	0 010	4.498 95	0 013	3.999 68	0 011
Frais généraux	1.159 70	0 004	1.384 25	0 005	1.291 32	0 003	1.481 35	0 004	1.205 10	0 003
Total	31.725 55	0 109	33.908 32	0 123	37.948 10	0 096	41.663 40	0 126	49.679 30	0 132
Total général	548.304 52	1 885	468.859 62	1 700	585.495 87	1 491	549.005 62	1 666	519.512 60	1 386

OBSERVATIONS. — Parcours des trains : 1866, 292,431 kilom. Parcours des trains : 1867, 329,908 kilom.; 1868, 374,672,5 kilom. — Parcours des véhicules : 1867, 4,707,447 kilom ; 1868, 5,276,784 kilom.

N° 4.

Comparaison des dépenses de traction du Semmering avec les autres sections de la ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements.

(Par kilomètre de train.)

DÉSIGNATION des lignes.	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868
LIGNE DU SUD.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. d.	fr. c.
Semmering seul.	2 85	2 40	2 29	2 155	1 885	1 700	1 491	1 666	1 586
Autres sections.	1 89	1 42	1 39	1 238	1 031	0 942	0 861	0 940	0 853
Ensemble des lignes du Sud. .	1 99	1 48	1 41	1 292	1 069	0 977	0 893	0 972	0 876
Réduction p. 100 pour le Semmering.....	—	15.8 0/0	19.7 0/0	24.4 0/0	33.9 0/0	40.4 0/0	47.6 0/0	41.5 0/0	51.3 0/0

N° 5.

Comparaison des dépenses totales d'exploitation du Semmering avec celles des autres sections de la ligne principale de Vienne à Trieste et de ses embranchements.

DÉSIGNATION des DÉPENSES.	SEMMERING. Dépenses par train complet de marchandises passant en deux fois.		SEMMERING. Dépenses par train de voyageurs.		Autres sections du réseau. Voyageurs et marchandises.	
	1867.	1868.	1867.	1868.	1867.	1868.
	fl.	fl.	fl.	fl.	fl.	fl.
Traction.....	3.332	2.772	1.666	1.386	0.940	0.853
Voie, Bâtiments et surveillance.....	1.692	1.720	0.846	0.860	0.666	0.595
Mouvement.....	0.830	0.740	0.830	0.740	0.830	0.740
Administration générale.....	0.130	0.110	0.130	0.110	0.130	0.110
Total par train et kilomètre.....	5.984	5.342	3.472	3.096	2.566	2.298

N° 6.

Comparaison de la consommation de combustible sur le Semmering.

ANNÉES.	Kilogrammes de COKE.	Kilomètres de TRAIN.	Kilomètres de machines y compris les manœuvres de gare.	CONSOMMATION par kilomètre de train.	CONSOMMATION par kilomètre de machine.	OBSERVATIONS.
				kilog.	kilog.	
1860	15.380.997	425.969	468.465	36	32	On emploie du lignite de Leoben ayant 65 p. 100 de la puissance calorifique du coke et du lignite de la Basse-Styrie, ayant 57 p. 100 de la puissance calorifique du coke.
1861	11.387.009	349.730	382.516	32	29	
1862	8.332.543	300.717	309.448	27	26	
1863	7.129.978	269.826	295.414	26	24	
1864	7.335.709	290.779	320.402	25	22.8	
1865	6.766.084	275.591	301.991	24.5	22.4	
1866	8.568.449	392.431	428.381	21.8	20	
1867	7.729.248	329.907	364.651	23.4	21.1	
1868	8.998.111	374.672.5	415.659.7	24	21.6	

N° 7. — État des dépenses de traction et d'entretien du matériel sur la ligne du Tyrol pendant l'exercice 1868, et comparaison de ces dépenses sur la section du Brenner et sur les sections Nord et Sud de la ligne du Tyrol.

1° Kufstein-Innsbruck : Tyrol-Nord.....
2° Innsbruck-Botzen : Section du Brenner..... } 307 kilomètres.
3° Botzen-Peri : Tyrol-Sud.....

DÉTAILS DES PARCOURS ET DÉPENSES.	LIGNE ENTIÈRE DU TYROL.	SECTION DU BRENNER.	AUTRES SECTIONS DE LA LIGNE DU TYROL.	OBSERVATIONS.
	k.	k.	k.	
Parcours des trains.....	1,017,571	450,297 4	567,273 6	
— des machines.....	1,046.345	471,849	574,496	
Excédant p. 100.....	2.82	4.56	1.25	
Parcours des véhicules.....	15,255,636	5,660,923 5	9,594,712 5	
Dépense de traction et d'entretien.....	1,307,123 55	653,523 72	653,599 83	
Dépense par kilomètre de train.				Longueur des lignes en exploitation.
1° LOCOMOTIVES.	fr.	fr.	fr.	
Conduite.....	0.190	0.220	0.166	
Combustible.....	0.607	0.770	0.477	1868. 307 kil.
Graissage.....	0.035	0.044	0.027	
Eau.....	0.009	0.012	0.008	Longueur de la section du Brenner 125 kil.
Réparations.....	0.121	0.126	0.116	
Frais généraux.....	0.068	0.070	0.067	
2° VOITURES & WAGONS.				
Réparations des voitures.....	0.120	0.093	0.141	
— des wagons.....	0.114	0.099	0.126	
Graissage.....	0.005	0.004	0.006	
Frais généraux.....	0.015	0.012	0.018	
Total par kilomètre de train..	1.284	1.450	1.152	

N° 8. — Tableau comparatif

des charges totales remorquées sur les sections du Semmering et du Brenner pendant l'année 1868, et comparaison des prix de revient de la tonne kilométrique sur ces deux sections.

SECTIONS.	Longueurs des lignes exploitées.	Parcours total des trains.	NOMBRE D'ESSIEUX PAR TRAIN.				CHARGEMENT BRUT MOYEN D'UN TRAIN.			
			Voyageurs.	Mixtes.	Marchandises.	Moyenne.	Voyageurs.	Mixtes.	Marchandises.	Moyenne.
	en kilom.	en kilom.					en tonnes.			
Semmering.	41.72	374,6725	21.8	»	31.4	28.9	78.15	»	141.5	124.9
Brenner...	125	450,2974	18	20.3	31.7	24.6	63.4	74.15	141.35	100.6

SECTIONS.	TRAVAIL TOTAL EN TONNES kilométriques.	DÉPENSES TOTALES de traction et d'entretien DU MATÉRIEL.	PRIX DE REVIENT de la tonne kilométrique de charge totale.	PRIX DE REVIENT du kilomètre DE TRAIN.	OBSERVATIONS.
		en francs.	en francs.	en francs.	
Semmering.	46,810,000	519,512 60	0.011098	1.386	
Brenner...	45,312,000	653,523 72	0.014422	1.450	

RÉSUMÉ

DU

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE LONDRES

Du 22 Décembre 1868 au 11 Mai 1869.

TRADUIT DE L'ANGLAIS

PAR M. LE JOSEPH LELOUP,

J'avais d'abord commencé une traduction aussi littérale que possible de ces documents, mais à mesure que j'avançais dans ce travail je me suis aperçu que les procès-verbaux reçus par la Société de Paris ne comprennent pas toutes les séances de la Société de Londres; que celles de ces séances où des discussions ont eu lieu, n'ont pas été envoyées; que les documents reçus ne contiennent déjà que des résumés de mémoires lus à la Société de Londres; que par des descriptions aussi sommaires et non accompagnées de dessins il est souvent difficile, de même qu'il le serait déjà s'il s'agissait d'un texte français, de se faire une idée parfaitement exacte de tous les détails relatifs aux sujets traités. Enfin il m'a semblé que par suite de la variété des sujets, dont quelques-uns ne présentent qu'un intérêt, pour ainsi dire local pour l'Angleterre, une traduction littérale serait de peu d'intérêt pour la Société, et que rien que sa lecture exigerait un temps considérable. J'ai continué néanmoins cette traduction jusqu'au bout, et je la tiens à la disposition de MM. les membres que quelques-uns des sujets traités pourraient intéresser spécialement, mais je ne donne ici qu'un résumé de chacun des articles composant la communication faite à notre Société.

Séance générale annuelle du 22 décembre 18

M. Charles HUTTON GRÉGORY, Esquire,

président cette séance ainsi que toutes celles qui vont suivre.

Le rapport du conseil annonce d'abord, que le nombre moyen des membres qui ont assisté aux séances dans la dernière session s'est accru, comparativement aux sessions précédentes; ensuite, que des mémoires sur divers sujets professionnels ont été lus, savoir : 1° sur des travaux d'irrigation dans l'Inde, en Espagne et dans d'autres climats chauds; 2° sur les procédés de fabrication et sur la résistance à l'usure des rails; 3° sur la relation entre les crues des rivières et la conformation physique de leurs bassins; 4° sur les crues dans la vallée de Nerbudda (Inde); 5° sur le pont de Vittoria (Londres); 6° sur les nouveaux chemins de fer à Battersea (Londres) et sur l'élargissement du pont Victoria; 7° sur la station terminus du chemin de fer de Charring-Cross prolongé (Londres); 8° sur la durée des matériaux; 9° sur la résistance des pilotis et sur le procédé pneumatique d'enfoncement des colonnes métalliques pour piles de pont; 10° sur la détermination expérimentale de l'effort sur les tiges de suspension dans les poutres de ponts arqués à treillis (bowstring girders).

Des prix et mentions ont été décernés aux auteurs de ces mémoires.

Il est question ensuite du nouveau local que la Société a fait construire pour ses séances, sur l'emplacement déjà occupé en location, dont les baux stipulaient la faculté d'acquisition, et moyennant l'adjonction d'un terrain adjacent.

Les plans et devis de la construction nouvelle ont été préparés dans deux hypothèses de durée des travaux, savoir : cinq mois et huit mois. La soumission de MM. Holland et Hannen, s'engageant à l'exécution en cinq mois, moyennant la somme de 11,100 livres (291,250 fr). a été acceptée et les travaux ont été exécutés dans le délai prescrit.

Quelques modifications aux plans ont été introduites lors de l'exécution; elles ont consisté principalement dans l'addition au rez-de-chaussée d'un salon de lecture et d'un salon de rafraîchissements, et dans l'introduction d'une galerie vitrée au premier étage, au moyen de laquelle il a été possible d'établir quatre portes d'entrées publiques à la salle des séances, au lieu de deux primitivement projetées.

Le montant total de la dépense, dont l'estimation, comprenant la con-

struction, le mobilier, les frais de déménagement, etc., avait été évaluée à 16,810 livres (420,250 fr.), ne dépassera pas, d'après les comptes aujourd'hui presqu'entièrement réglés, 17,250 livres (431,250 fr.).

Pour pourvoir à cette dépense le conseil a décidé de disposer : 1° du *building fund*, c'est-à-dire du fonds provenant de l'accumulation des droits payés par les membres pour leur admission ; 2° de réaliser les dons sans conditions ; 3° enfin de vendre ce qui pourrait être nécessaire des placements faits par la Société.

Toutes ces ressources épuisées, il resterait encore environ 3,000 livres (75,000 fr.) en réserve.

Les dons de Stephenson, de Miller et de Locke, le premier et le dernier de chacun 2,000 livres (50,000 fr.) et le second de 1,000 livres (25,000 fr.), disparaîtront à l'avenir des comptes, mais les noms de ces bienfaiteurs seront encore gardés en souvenir de gratitude, comme se rattachant à l'érection du nouveau monument.

On annonce ensuite qu'une demande a été faite au Parlement pour donner à un commissaire du Gouvernement pouvoir d'acquérir les immeubles de la Société. — Le conseil a, en réponse à cet avis, signifié son opposition à l'entreprise proposée.

Le conseil ayant décidé d'instituer une enquête sur les systèmes d'éducation des ingénieurs (autre que les ingénieurs militaires) dans différents pays et sur les effets de ladite éducation, a adressé une circulaire à ce sujet, à dès particuliers et à de nombreux établissements techniques. A cette circulaire il a été répondu par une masse de documents que le conseil espère pouvoir mettre bientôt sous les yeux de la Société.

Pendant que l'on était sur ce sujet, on a rappelé la munificente fondation à perpétuité faite par M. Joseph Whitworth, membre de la Société, de trente bourses d'élèves, d'une valeur annuelle de 100 livres (2,500 fr.) chacune.

A la suite se trouve un exposé de la situation de la Société, quant au nombre actuel des membres comparé aux nombres des années antérieures et quant aux décès.

Vient ensuite un exposé de la situation financière de la Société, duquel il résulte que pour l'exercice finissant le 30 novembre 1868, les revenus se sont élevés à 5,633 livres (140,829 fr), et les dépenses à 3,667 livres (91,681 fr.), laissant une différence à l'avoir de 1,965 livres (49,148 fr).

Viennent ensuite des détails sur le compte *établissement* de la Société, à la suite desquels le conseil considère la situation comme très-satisfaisante.

Des remercîments sont ensuite donnés au Président; aux membres du conseil, à MM. Bidder et Stepenson pour leur libérale contribution en ce qui concerne le nouveau local des séances; à l'architecte et aux autres

membres ayant pris une part active aux travaux de la Société dans le dernier exercice.

Les membres élus pour remplir les différentes fonctions dans le conseil, pour l'année 1869, ont ensuite été élus, savoir :

M. Charles Hutton Gregory, *président;* MM. Joseph Cubitt, — Thomas Elliot, — Harrisson, Thomas Hawksley et Charles Vignoles, *vice-présidents.*

Puis suivent les noms des autres membres du conseil et ceux des membres associés.

Séance du 12 janvier 1869.

Le mémoire lu a pour titre : *Des machines à extraire la houille,* substituées à l'emploi de la poudre, par M. C. J. Chubb.

L'auteur pose d'abord que les conditions de l'extraction de la houille, dans l'avenir, peuvent être ainsi définies : 1° procurer une plus grande sécurité aux ouvriers; 2° obtenir la houille dans des conditions qui, en diminuant le déchet, utilisent le mieux possible les quantités de houille restant encore dans les mines.

Pour arriver à ce but, l'auteur pense que l'usage de la poudre doit être entièrement abandonné; il pense aussi qu'il doit y avoir des moyens plus simples et plus pratiques que l'emploi des machines à couper la houille (coal cutting machines).

Par suite de ces idées il propose un appareil dont quelques détails sont donnés, et dont le principe consiste dans l'emploi de pinces ou leviers divisant la houille par une action puissante, obtenue au moyen d'une presse hydraulique.

Cet appareil a été essayé dans les districts de South-Wales, où la houille offre les variétés les plus diverses, et il a été constaté qu'il présentait, comparé aux procédés ordinaires, une économie; et qu'en outre la même quantité de houille pouvait être extraite dans le même temps, sur un espace qui n'était que moitié, avec le nouveau procédé, de celui qu'aurait nécessité l'extraction par le procédé du minage

Une discussion est ensuite engagée sur ce sujet, mais elle n'a pas été communiquée.

A la suite, vient la liste de nouveaux élus comme membres de la Société, ainsi qu'un avis du conseil, relatif à l'admission des membres aspirants (students).

Séance du 26 janvier.

Le mémoire lu à cette séance est la description des estacades, ponts et plates-formes flottantes de New-Ferry et de New-Brighton, sur la rivière la Mersey, près de Liverpool, par M. Henry Hooper, membre de la Société.

L'auteur, après avoir brièvement décrit les anciens aménagements existant sur ces points, indique que, pour procurer une meilleure communication par eau entre Liverpool et New-Ferry, la Compagnie des bâteaux à vapeur de la Mersey a établi un service qui a nécessité l'établissement d'un débarcadère à New-Ferry, lequel a été exécuté suivant les dessins de M. Brunless, membre de la Société.

Il se compose d'un ponton ou plate-forme flottante de 100 pieds (31^{m}.50) de longueur et de 22 pieds (6^{m}.71) de largeur, à laquelle est fixé un pont mobile posé à charnières sur la plate-forme, et reposant de l'autre bout sur l'extrémité de l'estacade, de manière à suivre le mouvement de la marée. Le pont a 158 pieds (48^{m}.20) de longueur, et 9 pieds 8 pouces (2^{m}.95 de largeur.

L'estacade de 250 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur, formée de poutres en treillis arquées, disposées en 3 cours et reposant sur des colonnes en fonte, complète la communication entre le pont mobile et la terre.

Les détails donnés de ces aménagements, quoiqu'ils indiquent une construction bien raisonnée, ne renferment rien de particulièrement nouveau, si ce n'est peut-être le système d'enfoncement des pilotis en fonte, au sommet desquels étaient adaptées les colonnes supportant les fermes de l'estacade. Ces pilotis portaient à leur partie inférieure un pas de vis, et ils ont été enfoncés jusqu'au terrain solide, à travers une couche de sable, au moyen d'un mouvement de rotation communiqué par des cabestans.

Les aménagements de New-Brighton, décrits ensuite, sont conformes, quant aux dispositions générales, à ceux donnés pour New-Ferry; les dimensions seulement sont différentes, et la différence principale se trouve dans la plate-forme qui, au lieu de 100 pieds (30^{m}.50) de longueur, en a 200 (61 mètres) à New-Brighton.

Séance du 2 février.

Le mémoire lu à pour titre : « Les chemins de fer de l'île Maurice (ligne centrale), » par M. James R. Mosse, membre de la Société.

L'objet principal de cette communication est de donner un compte rendu de l'exploitation de quelques rampes anormales.

Avant d'arriver à cet objet principal, on expose brièvement l'historique du chemin, les études faites sous la direction de M. Hakwshaw, ancien président de la Société; la conclusion d'un traité avec MM. Brassey et Wythes et le commencement de l'exécution, en 1862, par ces entrepreneurs, sous la direction de M. Walmsley Stanley, ingénieur, membre de la Société.

Les chemins de fer à construire comprenaient deux lignes, savoir : la ligne du Nord, partant de Port-Louis et se dirigeant vers le nord-est de l'île, parcourant 31 miles (50 kilomètres), et la ligne centrale partant aussi de Port-Louis et passant à peu près au milieu de l'île. Sa longueur était de 35 miles (56^{k}. 4). Le seul travail d'art important était le viaduc sur la grande rivière, dont une description a été donnée (vol. xxv, page 237). La première de ces lignes a été ouverte en mai 1864, et la seconde en octobre 1865. Leur dépense a été de 21,876 livres par mile; soit 339,680 fr. par kilomètre.

On donne ensuite un aperçu des inclinaisons et des courbes *sur la ligne centrale*. L'élévation du sommet à franchir était de 1817 pieds (554 mètres) et la distance, en partant de Port-Louis, pour arriver à ce sommet, était d'environ 16 miles (25^{k}. 7) d'où une rampe moyenne de 22 millièmes environ; et du sommet à Mahebourg, point d'arrivée, la distance étant de 19 miles (30^{k}. 6), la pente moyenne aurait été de 18 millièmes environ; mais, par suite de la conformation du sol, ces rampes et pentes étaient variées et atteignaient au maximum en montant 37 millimètres par mètre, en deux longueurs formant ensemble 4^{k}.125, et dans l'autre sens, l'inclinaison la plus forte était de 33^{mm}.3.

Les courbes, dont quelques-unes de rayons n'excédant pas 488 mètres coïncidaient avec les inclinaisons les plus fortes, étaient nombreuses; ces courbes avaient ordinairement de 600 à 900 mètres de rayon, mais elles descendaient jusqu'à 290 mètres. Il y avait en total un peu plus de la moitié de la ligne en courbe.

Les locomotives, dont quelques détails de plus que ceux rapportés ici sont donnés, étaient d'abord au nombre de 7 : c'étaient des machines-tender à 6 roues couplées, pesant 37 tonnes avec eau et charbon. Depuis, on a construit 6 autres locomotives à 8 roues couplées, pesant avec leur approvisionnement 48 tonnes.

Ces machines trainaient habituellement 6 voitures de voyageurs et un wagon à bagage, et, dans quelques circonstances, elles ont remorqué deux voitures chargées en plus, soit un total d'environ 56 tonnes.

Et pour les marchandises, le poids ordinaire remorqué était de 70 tonnes avec les plus faibles machines, et de 100 à 120 tonnes avec les plus fortes.

La vitesse moyenne des trains de voyageurs, compris temps d'arrêt, était de 22 kilomètres à l'heure, et celle des trains de marchandises, compris de nombreux temps d'arrêt, était de 14k.5.

Toutes les voitures des trains de voyageurs, à l'exception des voitures de 1re classe, étaient munies de freins manœuvrés de l'intérieur, et en outre, les trains étaient munis du frein continu de Clark. On se servait aussi de la boîte à sable dans les temps humides pour venir en aide à l'action de ces freins.

Du relevé des comptes de l'exercice 1866, il ressort que les dépenses de l'exploitation ont été, pendant cette année, de 62 1/2 p. 100 des recettes. On explique cette proportion si élevée, par différentes causes exceptionnelles dont les principales sont : le haut prix de la main-d'œuvre des ouvriers spéciaux, la cherté du combustible, le caractère agricole des contrées traversées; par la forte inclinaison des rampes et pentes; par le peu de sécurité que présente le pays; par le manque de produits manufacturés; et enfin, par la très-grande irrégularité du trafic.

En conclusion, l'auteur du mémoire appelle surtout l'attention des ingénieurs sur la difficulté d'exploitation des lignes présentant d'aussi fortes inclinaisons, et il rappelle que l'on ne saurait étudier avec trop de soin la comparaison entre le chiffre d'augmentation des dépenses d'exploitation et celui des dépenses supplémentaires de construction au moyen desquelles on aurait pu employer des rampes qui, autant que possible, suivant lui, ne devraient pas dépasser 25 millièmes; et qu'on doit aussi, autant que possible, faire suivre ces fortes inclinaisons par des paliers qui faciliteraient le ralentissement après la descente.

Quoi qu'il en soit, la ligne du Midland est maintenant en exploitation depuis plus de trois ans, et heureusement jusqu'ici, aucun accident n'est arrivé à un train circulant à la descente.

Suit le vote pour l'admission de nouveaux membres de la Société et de membres aspirants.

Séance du 16 février.

Le mémoire lu a pour sujet les lagunes et marais de certaines parties des côtes de la Méditerranée, par le professeur D. T. Ansted.

L'auteur fait d'abord allusion aux relations de la géographie physique

et de la géologie avec l'art de l'ingénieur, puis il continue en décrivant l'état du Rhône, son delta et la contrée appelée la Camargue. Un premier résultat de son examen lui parait être que, dans la période historique, le delta du Rhône s'est avancé vers la mer d'une distance qui se mesurerait par milles (miles). Puis il décrit le mode de formation du delta, qui lui semble être dû aux dunes formées par la mer le long de ses côtes. Ces dunes opposent un obstacle à l'écoulement des eaux douces provenant de petits ruisseaux venant des terres, et dont quelques-uns sont torrentiels et charrient des détritus ; de là les lagunes qui, au bout d'un certain temps, se remplissent plus ou moins complétement par les dépôts provenant des eaux douces dont il a été parlé et finissent par former une addition permanente à la terre.

Des détails qui ont paru trop étendus pour être reproduits ici, décrivant les différentes lagunes et marais principaux du delta, sont ensuite donnés ; puis on relate, dans le compte rendu anglais, que les travaux projetés (dont on ne donne pas la description) pour l'amélioration de la condition sanitaire de la côte et pour la restitution à la culture des terres en marais, ont été ensuite indiqués, et qu'une opinion favorable sur la réussite de ces travaux à été émise par l'auteur du mémoire.

On passe ensuite à l'examen des lagunes de la côte Est de l'île de Corse, dont la principale, celle de Biguglia, près de l'embouchure du Golo, occupe une surface de 1,900 hectares avec une profondeur moyenne d'eau de 33 pouces 1/2 (0.80). L'auteur pense qu'en conduisant directement à la mer les eaux du Bévinco, principal affluent du Golo, on pourrait espérer l'assainissement de la plus grande partie de cette surface, soit une superficie d'environ 1,500 hectares.

Il mentionne que le cas des autres lagunes situées le long de la côte Est de l'île est semblable généralement à celui de Biguglia, mais que chacun nécessite des considérations distinctes, en conséquence de la géographie physique des localités qu'elles occupent.

On donne ensuite le relevé fait sur une période d'un grand nombre d'années d'observations de la quantité moyenne annuelle de pluie, près du delta du Rhône et sur les côtes de Corse. La première étant de 36 pouces ($0^m.915$), la deuxième de 24 pouces (0.61) ; mais on indique qu'à cause des très-grandes irrégularités de ces pluies, ce résultat statistique n'a pas une grande valeur pratique. On annonce que d'autres données sur les pluies par saisons et sur les grandes pluies sont données dans le mémoire.

Enfin l'auteur conclut au résumé suivant des résultats pratiques des faits qu'il a étudiés.

Premièrement, que les lagunes et marais atteints par la malaria sont le résultat de l'interception des petits courants d'eaux douces venant des terres, par des amas de sables mouvants et de vase, provenant du char-

riage de détritus fait par les grandes rivières, et repris ensuite et distribué par les courants marins.

Secondement, qu'une étude de la géographie physique actuelle des contrées affectées de la malaria, combinée avec une connaissance de leur géologie est suffisante pour expliquer les conditions de la formation des marais et lagunes où règne ce fléau.

Troisièmement, que la suppression de la malaria au moyen de drainages partiels ou complets, accompagnés de la conservation de certaines lagunes communiquant librement avec la mer, ne peut être espérée que par suite des travaux des ingénieurs, basés sur l'histoire spéciale de chaque cas considéré, et sur la connaissance de la géographie physique et de la géologie de la contrée.

Quatrièmement, que dans certains cas où de petits ruisseaux torrentiels ont été détournés de la mer par l'accumulation rapide du sable apporté par les vents, le drainage général serait facilité par la réouverture d'un chenal permanent, conduisant à la mer ces ruisseaux.

Cinquièmement, que le principe de la division des grandes surfaces qui, par leur drainage, fournissent l'eau douce aux lagunes en petites parties, dont chacune devra subir un traitement particulier suivant les cas, est le système qui devra être adopté toutes les fois que des améliorations sanitaires sont réclamées, et que ce système sera aussi trouvé avantageux au point de vue économique.

Séance du 2 mars.

Le premier mémoire lu à cette séance a pour titre : *Du fonçage des puits*, pour les fondations des piles du pont sur la rivière *Jumna*, chemin de fer de Delhi (Inde), par M. Imrie Bell, membre de la Société.

Après avoir parlé des procédés précédemment en usage pour l'excavation intérieure et la descente des puits destinés à former des piles de ponts, l'auteur arrive à la description du pont sur la rivière *Jumna*.

Le lit de la rivière était composé de gravier gros et fin et de sable, alternant avec des couches d'argile bleue de 3 à 4 pieds d'épaisseur. Le pont comprenait 24 travées de chacune 99 pieds (30m.20) de débouché, et la superstructure était composée de deux cours de fermes à croisillons, reposant sur des colonnes en briques, ou puits de chacun 3m.84 de diamètre extérieur, et de 1m.78 de diamètre intérieur. Une base en tôle, remplie de béton, formait l'assiette sur laquelle on établissait la maçonnerie de briques que l'on construisait successivement au fur et à

mesure qu'on la faisait descendre, en excavant les terres de l'intérieur, ainsi qu'il sera expliqué.

La maçonnerie était faite d'abord sur une hauteur de 6 pieds (1m.83), après laquelle on commençait à pratiquer l'enfoncement; puis, sur 10 pieds (3m.05), et enfin sur deux hauteurs de chacune environ 15 pieds (4m.60) qui suffisaient ordinairement pour atteindre le terrain solide.

La chaux employée était de la chaux hydraulique pour toute la partie au-dessous de l'étiage et de la chaux grasse, avec addition de brique pilée pour la partie supérieure.

La construction des puits pour la fondation des piles de ce pont a été complétée en un peu moins de deux années, et la partie au-dessus des eaux de ces piles s'effectuait au fur et à mesure qu'une fondation était terminée.

L'innovation importante dans l'enfoncement des puits de ce pont a été l'usage de la *pompe à sable*. Cette pompe consiste en un cylindre de tôle, portant à son sommet une pompe ordinaire munie d'un piston percé de petits trous pour permettre l'échappement de l'eau. Le fond du cylindre est enlevable à volonté, et il est traversé dans son centre par un tuyau d'aspiration saillant en dehors d'une longueur égale à son propre diamètre, et qui s'élève à l'autre bout presque jusqu'au niveau du sommet du cylindre.

Quand cet appareil était descendu au fonds du puits, on faisait agir la pompe au moyen de chaînes mues par les ouvriers placés au sommet du puits. — L'eau était alors aspirée par le tuyau central et elle était suivie par le sable ou autres matériaux, lesquels tombaient par dessus le tuyau, dans le cylindre. Quand ce cylindre était plein, on enlevait tout l'appareil au moyen d'une petite machine à vapeur de 4 chevaux, placée au sommet; on retirait alors le fond mobile; on vidait le cylindre, et, après avoir adapté un nouveau fond, on redescendait la pompe et le cylindre dans le puits.

Le nombre d'hommes employés à chaque puits était de quatorze, y compris ceux faisant marcher la petite machine à vapeur. La moyenne de la profondeur d'enfoncement, y compris tous travaux accessoires et pertes de temps, était d'environ 6 pieds (1m.83) en huit heures.

En conclusion, l'auteur comparant cette méthode avec toutes les autres connues émet l'opinion la plus favorable au sujet de la pompe à sable de M. Howard-Kennard, et il fait valoir sa simplicité et les avantages qu'elle présente, surtout dans les pays où le travail des ouvriers habiles ne s'obtient pas facilement. L'auteur indique enfin quelques améliorations effectuées depuis dans les détails de cette pompe, notamment pour l'employer dans les terrains glaiseux, comme cela a eu lieu aux travaux du pont de Sutley.

Le second mémoire lu dans cette séance est « une Description des

appareils pour excaver l'intérieur des cylindres métalliques et pour les faire descendre, par M. John Milroy, membre associé.

Dans ce mémoire on émet d'abord l'opinion que, pour la descente des cylindres, le grand *desideratum* était jusqu'à présent la découverte de quelque méthode pour extraire la terre de l'intérieur sans avoir à enlever l'eau. Ce but paraît à l'auteur avoir été atteint par une machine de son invention, qui a été employée au pont sur la *Clyde* du Glascowcity-union-railway, dont M. Fowler (ancien président de la Société), et M. Blair, membre associé, étaient les ingénieurs.

L'appareil excavateur est ainsi décrit :

Il se compose d'un châssis formé extérieurement par un cercle de fer, garni de fers à T, dirigés suivant les rayons et venant se réunir à un petit anneau central. Au bas du cercle extérieur étaient suspendues, au moyen de charnières, leur permettant un mouvement vers l'intérieur seulement, huit lourdes pelles en fer. L'appareil était descendu dans le puits, et par le moyen d'un système de chaînes et de poulies manœuvrées de la plate-forme supérieure, les pelles pendant verticalement étaient d'abord enfoncées dans le sol, puis relevées vers le centre, de manière à ce que leurs bords vinssent en contact avec les fers à T rayonnants, et à ce que leur extrémité opposée à la charnière vînt s'appliquer sur l'anneau central; l'ensemble du châssis formait alors un plateau presque étanche et il ne restait plus qu'à enlever, au moyen d'une petite machine à vapeur, tout l'appareil jusqu'au sommet du puits, pour en retirer les terres dont il était chargé.

On a ainsi obtenu une descente qui a varié entre 12 et 29 pieds (3m.66 et 8m.84) par journée de dix heures, y compris le temps employé à ajouter les nouveaux anneaux du cylindre et à le charger pour le faire descendre.

Douze hommes, y compris le mécanicien et le chauffeur, étaient employés à ce travail.

En conclusion, l'auteur fait ressortir les avantages suivants en faveur de son appareil :

1° Que son action est parfaitement indépendante de l'eau qui reste dans le cylindre jusqu'à son enfoncement complet;

2° Qu'il est également efficace à toute profondeur, sans augmentation sensible dans le prix du travail;

3° Que sa rapidité d'action est plus grande que par toute autre méthode connue.

Enfin, que la dépense est relativement faible par suite de la non-obligation d'employer des ouvriers spéciaux.

Suit une liste d'élection de nouveaux membres de la Société.

Séance du 9 mars.

Avant de commencer les travaux ordinaires, le président annonce le décès de M. James Simpson, ancien président de la Société, ingénieur hydraulicien distingué, et qui laisse les meilleurs souvenirs comme homme privé et comme ingénieur.

Le mémoire lu ensuite a pour titre : « Locomotives et matériel roulant américain, » par M. Zerah Colburn, membre de la Société.

L'auteur émet d'abord cette opinion que la construction et l'exploitation des chemins de fer américains ne sont, au fond, qu'une application légèrement modifiée de la pratique anglaise. Il rappelle que l'introduction des deux premières locomotives aux États-Unis date de 1828; que ces machines avaient été construites, l'une par J. V. Rastrick, et l'autre par Stephenson. Il revendique, pour ce dernier, l'idée d'avoir conseillé l'emploi du « bogie, » qui depuis est devenu le principal caractère distinctif du matériel américain, dans une reconnaissance qu'il fit de la ligne Baltimore-and-Ohio, alors en projet, et qui comprenait des courbes de 120 mètres de rayon.

Puis l'auteur fait ensuite l'historique des modifications successives éprouvées par les machines, en Amérique, depuis l'époque de 1830 à 1832, à laquelle elles ne pesaient que de 3 1/2 à 4 tonnes. C'est vers cette époque que le « bogie » (sorte d'avant-train mobile à quatre roues) a commencé à être substitué à la paire de roues d'avant des machines venues d'Angleterre. Ce « bogie » n'était cependant pas alors généralement employé, et beaucoup de machines venues d'Angleterre circulaient avec leur construction originale.

Puis l'auteur décrit les transformations successives des machines; leur augmentation de poids, de puissance et de vitesse qui ont suivi une progression analogue à ce qui a eu lieu en Angleterre, tout en restant dans des limites moindres.

Il cite l'usage, au commencement, des cheminées à larges tuyaux, alors que le combustible employé était le bois; l'introduction des abris pour les mécaniciens, nécessités par le climat très-froid en hiver. Il indique la haute pression et le petit diamètre des roues, employés comme moyens de satisfaire aux conditions de faibles vitesses et de lourdes charges que l'on commençait à rechercher, puis, l'adhérence devenant insuffisante, l'emploi de l'accouplement qui a été depuis généralement appliqué en Amérique.

Le compte rendu annonce que des détails ont été donnés sur plusieurs systèmes de machines depuis longtemps en service sur le Baltimore-and-

Ohio et sur le Reading-railway, ainsi que de celles employées pour exploiter le plan incliné de 1 sur 16 1/2 (66 millimètres par mètre), sur 2 kilomètres de longueur, situé au terminus de Madison.

Il fait observer que l'usage américain est de mettre moins de poids sur chaque paire de roues qu'on ne le fait en Angleterre, et que cela a conduit dans le premier de ces pays à augmenter le nombre des roues et à employer de petits diamètres pour ne pas trop augmenter la longueur de l'empattement,

Une particularité que l'on remarque dans les machines américaines actuelles, c'est que les deux manivelles ou excentriques faisant mouvoir les roues se trouvent placées dans la même position de chaque côté de la machine, ce qui est le contraire de la pratique anglaise. Les ingénieurs américains croient avoir remarqué que la disposition qu'ils emploient procure une usure plus uniforme des coussinets et moins de secousses dans la marche de la machine.

Les machines à voyageurs maintenant le plus en usage aux États-Unis sont ensuite décrites.

Elles sont le plus souvent à cylindres extérieurs et ont généralement quatre roues accouplées motrices et un « bogie » à quatre roues. Les cylindres ont de 38 à 43 centimètres de diamètre, et de 0.56 à 0.61 de course. Au moyen d'un grand tirage, d'une forte pression de la vapeur et d'une faible détente, on obtient de telles machines un travail égal à 300 chevaux sur un train de voyageurs, à une vitesse moyenne de 40 kilomètres à l'heure, mais la consommation de houille atteint de 22 à 27 kil. par mile, soit 14 à 17 kilog. par kilomètre; et sur le Pensylvanien-Central, avec des inclinaisons de 10 à 20 millimètres, la consommation est, en moyenne, de 20 kilog. par kilomètre et par train, voyageurs et marchandises.

On donne ensuite des détails sur les machines à marchandises, dont les caractères principaux sont d'avoir les six roues principales couplées; un poids peu considérable (environ 31 tonnes); la pression de la vapeur sur les pistons de 4k.20 par centimètre carré. La vitesse de 24 kilomètres à l'heure; la force en chevaux de 360.

On suit dans l'exploitation la règle qui paraît être généralement adoptée pour les trains de marchandises : grandes charges et faibles vitesses.

L'auteur cite ensuite un voyage d'expérience qu'il a fait sur le « Erie-Railway, sur une longueur de près de 1450 kilomètres, et des observations faites pendant ce voyage et que le procès-verbal ne rapporte pas. il conclut que la résistance du matériel roulant américain *à bogie* est moindre que celle du matériel roulant anglais, et que le coefficient d'adhérence aux États-Unis est plus grand que celui qu'on obtient en Angleterre; il en attribue la cause en partie aux influences climatériques et à une meilleure application du sablage, fait sur les deux rails à

la fois au moyen d'une boîte à valve régulatrice. Il attribue encore une partie des résultats favorables au matériel américain à l'usage des boîtes à huile qui est général aux États-Unis.

L'auteur signale ensuite une particularité importante : c'est l'usage presque exclusif en Amérique, pour les machines, les voitures et les waggons, des roues en fonte durcie, lesquelles, dit-il, sont non-seulement beaucoup meilleur marché, mais encore plus durables et présentent une sécurité au moins aussi grande que les roues en fer. Les roues en fonte des voitures à voyageurs restent en service de deux à six ans et même sept ans, et, avant d'être réformées, elles ont accompli un parcours de 129,000 à 322,000 kilomètres.

D'autres détails sont ensuite donnés sur le combustible, le bois à l'origine, et, depuis dix ou 12 ans, presque exclusivement la houille, et sur les boîtes à feu en acier et les tubes en fer adoptés depuis l'emploi de la houille.

En ce qui concerne la dépense d'entretien des machines, on l'estime (non compris les grosses réparations équivalant presque à une reconstruction) à 0f.20 par train, par mile, soit 12cm.4 par train, par kilomètre; chiffre que, au dire de l'auteur, il faudrait, à cause du haut prix de la main-d'œuvre en Amérique, réduire à 0.096, pour pouvoir le comparer avec celui de la dépense en Angleterre.

Les causes qui conduisent à des économies dans l'entretien des machines en Amérique, après avoir tenu compte de la faible vitesse des trains, sont l'usage du « bogie; » celui des roues en fonte durcie, l'emploi des boîtes à feu en acier et celui des tubes en fer.

On passe ensuite à l'examen des voitures et wagons. En ce qui concerne les voitures, on mentionne d'abord qu'à cause des courbes de petits rayons, 120 à 180 mètres, on a été conduit à appliquer le « bogie » à ces véhicules; à leur donner des dimensions très-grandes en longueur, à supprimer les tampons de côté pour les remplacer par un tampon central avec un accouplement peu serré. Par suite de la suppression des tampons de côté on peut plus facilement adopter l'entrée dans les voitures par les bouts, et cela permet l'abaissement du plancher et donne une grande latitude pour renforcer les longerons. Le passage central à l'intérieur des voitures exige une plus grande largeur, et celles de 2m.74 à 2m.90 à l'extérieur, et même dans quelques cas 3m.05 ont été employées même avec la voie de 1m.50. Ces largeurs ont permis d'établir des siéges en travers pour quatre voyageurs, avec le couloir central au milieu. Ces siéges peuvent se retourner de manière à faire face soit à l'avant, soit à l'arrière de la voiture, car on ne retourne pas ces dernières.

L'auteur remarque que ces voitures sont peu confortables relativement aux habitudes anglaises, et qu'en outre il y a un certain espace perdu. Il fait observer aussi qu'elles ne pourraient convenir pour des lignes de peu d'étendue dans lesquelles quarante, cinquante ou un plus

grand nombre de voyageurs ont à descendre et autant à monter en une minute ou une minute et demie. Quoi qu'il en soit, il reconnaît que ces longues voitures avec portes par bouts ont des avantages mécaniques évidents par leur stabilité, par la facilité qu'elles offrent pour obtenir la résistance verticale, et par la simplification résultant de la suppression d'un grand nombre de portes, de celle de tampons latéraux, etc. On a remarqué aussi que l'application soudaine des freins aux roues de ces longues voitures produisait moins de secousses qu'avec les voitures ordinaires. Des voitures de ce genre, ayant à la caisse de 13m.72 à 18m.30 de longueur ont été construites; elles contenaient de soixante à quatre-vingt-quatre voyageurs et ne pesaient vides que 12 tonnes.

En comparant la dépense d'entretien des voitures américaines et du matériel roulant avec ceux des lignes anglaises, on doit avoir égard à beaucoup de circonstances : ainsi dire que la dépense pour 1867, sur les 1612 miles (2,595 kilomètres) du chemin de fer dans l'État de Massachusetts a été de 0f.25 par train et par mile (0f.15 par train par kilomètre) ne permet pas d'en tirer aucune déduction certaine. Dans les États-Unis, le nombre de voyageurs parcourant la distance totale est généralement de moitié en sus plus grand qu'en Angleterre, quoique la proportion du poids mort au poids transporté soit à peu près la même dans les deux pays. La vitesse est moindre aux États-Unis, et il reste ce fait que la main-d'œuvre et presque tous les matériaux sont beaucoup plus chers en Amérique. D'un autre côté, l'emploi des roues en fonte représente une économie considérable. L'entretien des tampons, des ressorts et des voitures sans portes de côté coûte aussi bien meilleur marché.

On fait encore remarquer, au sujet des roues pleines en fonte durcie, qu'elles sont surtout avantageuses dans les conditions où elles sont employées en Amérique, c'est-à-dire avec de petits diamètres et marchant à faibles vitesses. Pour des vitesses plus considérables, obligeant à l'emploi de grandes roues, elles perdraient une partie de leurs avantages, car leur poids croîtrait dans la proportion du carré des diamètres.

Pour conclure, l'auteur énonce ce fait, que si la pratique des chemins de fer d'Amérique est, sous quelques rapports, plus audacieuse que celle qui prévaut en Angleterre, les accidents, quand ils ne sont pas trop fréquents, sont considérés dans le premier de ces pays comme des malheurs inévitables, tandis qu'en Angleterre, à moins qu'ils ne résultent de causes absolument au delà de toute prévision, on les regarde à juste titre comme une faute, une grave imprudence ou même comme un crime.

Séance du 13 avril.

Le mémoire lu est relatif à des expériences sur les étalons ou modules de comparaison employés pour mesurer le pouvoir éclairant du gaz extrait de la houille, par M. T. N. Kirkham, membre de la Société.

L'auteur observe d'abord que les moyens de comparaison actuellement en usage sont connus pour être assez imparfaits, et il a entrepris une série d'expériences propres à constater l'étendue de leurs variations.

Les instruments employés pour la comparaison des pouvoirs éclairants du gaz, sont en France celui de M. Foucault, qui prend pour terme de comparaison la lumière produite par 10 grammes d'huile de colza, brûlant dans une lampe carcel à raison de 42 grammes par heure. De 25 à 27 litres 1/2 de gaz brûlant dans un bec de Bengel, de dimensions connues, doivent donner la même quantité de lumière que les 10 grammes d'huile dans les conditions ci-dessus.

En Angleterre, l'instrument en usage est construit sur le principe de Bunsen, et l'étalon de comparaison est défini par acte du Parlement; il a pour base la lumière d'une bougie stéarique, brûlant à raison de 120 grains (78 grammes) par heure. Le gaz consumé à raison de 5 pieds cubes (142 litres) par heure, par un bec d'Argand, ayant 15 trous et ayant une cheminée de 7 pouces ($0^m.178$) de hauteur, doit donner une lumière égale à celle de 12 des bougies ci-dessus décrites.

On rend compte ensuite des expériences dont on ne donne ici que le résumé très-succint, et desquelles il résulte que l'étalon spécifié par l'acte du Parlement donne, dans presque toutes les expériences faites dans les conditions que cet acte prescrit, des résultats très-divers et très-différents entre eux, ainsi que cela avait du reste été constaté par des expériences antérieures déjà connues,

Les plus grandes différences résultant de 44 expériences ont montré qu'un même module de gaz pouvait être représenté par un nombre de bougies variant de 13.58 à 18.18, mais avec des consommations différentes en poids; et qu'en ramenant le tout à la même unité, on trouvait une différence totale de quatre bougies entre deux modules semblables de gaz brûlé.

On fait remarquer aussi que le module-gaz donne toujours une quantité de lumière excédant les douze bougies, taux réglementaire.

Les expériences faites ensuite, en vue de reconnaître si l'étalon français méritait plus de confiance que celui employé en Angleterre, ont indiqué que les variations étaient à peu près aussi grandes dans l'un que dans l'autre.

Dans ces dernières années, l'auteur du mémoire s'est servi du *jet*

photometer de sir Lowe. Comme l'exactitude de cet appareil semblait à première vue devoir être plus grande que celle des autres moyens employés, il a fait une nouvelle série d'expériences dans le but de comparer les résultats donnés par ces instruments avec ceux obtenus au moyen des appareils français et anglais.

Un diagramme montrant le résultat de ces expériences simultanées fut préparé pour montrer le pouvoir éclairant de différents gaz mesuré par chacun des deux systèmes en usage et par le moyen proposé de vérification; sur ce diagramme, une ligne droite diagonale représentant la proportion du pouvoir éclairant en rapport inverse avec la pression (suivant la théorie) a été presque exactement suivie par les indications du *jet photometer*. Les lignes sinueuses représentant les résultats des expériences avec l'appareil ordinaire anglais et avec celui employé en France coupaient la ligne droite en passant tantôt au-dessus tantôt au-dessous, mais s'accordaient également par leur ensemble avec la théorie.

L'auteur indique encore une vérification qu'il a faite des indications du *jet photometer*, par la durée de la combustion ou par le temps de l'écoulement de la quantité de gaz donnée à la pression aussi constatée.

De ces expériences l'auteur conclut qu'une méthode plus certaine que celles maintenant en usage est essentiellement nécessaire. Il pense que la combinaison suivante fournirait un résultat approchant de la vérité, savoir : faire un nombre suffisant d'expériences avec la méthode de la lampe carcel, et comparer la moyenne de ces expériences avec le pouvoir éclairant accusé par le jet photométrique et par l'épreuve de durée, et alors la moyenne des résultats pourra être prise comme représentant le pouvoir éclairant du gaz.

Séance du 27 avril.

Le mémoire lu a pour sujet « la Chute à la mer du Humber. » Il comprend de nombreuses recherches sur l'état de l'embouchure du Humber depuis le neuvième siècle jusqu'à ce jour. Il indique que, depuis 1725 jusqu'à 1852, la profondeur du chenal aux eaux basses paraît s'être augmentée de 5 pieds (1^{m}.52).

Il appelle l'attention sur la valeur relative, en ce qui concerne les atterrissements, des eaux douces descendantes et de celles de la marée montante, et sur l'effet des atterrissements assez élevés ou assez protégés par des digues pour ne plus être couverts par les marées.

En conclusion, l'auteur constate que l'état de l'embouchure du Humber est depuis longtemps dans une voie d'amélioration progressive, mais que cependant les galets à peu de distance de l'embouchure semblent

suivre une marche qui peut faire prévoir une interception du *chenal*, semblable à celle qui paraît avoir eu lieu dans les temps anciens.

Le sujet de ce mémoire est intéressant, en ce qu'il touche à une question délicate et difficile, celle des effets définitifs résultant de l'action combinée des eaux fluviales et des eaux maritimes en relation avec la forme des bassins d'embouchure et autres circonstances. Mais une pareille étude ne peut évidemment être faite d'après le compte rendu d'un mémoire, c'est pourquoi j'ai cherché à rendre aussi court que possible le résumé de ce compte rendu.

Séance du 11 mai.

Le président annonce que pendant la session qui vient de s'écouler il a visité Paris, accompagné de MM. Bidder, Mac-Clean, Cubitt, Hemans et Manby, pour présenter à l'Empereur des Français le diplôme de membre honoraire de la Société des Ingénieurs civils d'Angleterre.

Sa Majesté a reçu la députation très-gracieusement et a demandé que ses sincères remercîments fussent transmis aux membres de la Société, pour l'honneur qu'ils lui avaient fait.

A la suite de cette communication, le mémoire lu est une « Description du port à marée de Birkenhead, » par M J. Ellacot, membre de la Société.

Ce bassin, dont les plans ont été sanctionnés par le Parlement en 1844 et 1853, avait pour destination principale de former un accès à toute hauteur de marée, et un garage ou refuge pour la navigation dans le Mersey. Le fond du bassin devait être maintenu à 12 pieds 1 pouce (3m.91) au-dessous des basses eaux ordinaires des marées de printemps, et, pour obtenir ce résultat, on avait pensé à faire usage de fréquentes décharges d'eau amenée par des écluses de chasse, et provenant d'un réservoir appelé *great-float*, ayant une superficie de 150 acres (60 hectares), situé à proximité.

Par ce moyen on a réussi, non sans quelques accidents et non sans une grande gêne pour les navires, tant dans le grand réservoir supérieur que dans le port à marée, à maintenir le fond de ce bassin à la hauteur voulue; mais, en outre des inconvénients ci-dessus signalés, des dégradations importantes se sont produites par suite d'affouillements et menaçaient de destruction les fondations du bassin, celles des écluses et d'une grande partie des travaux.

Par suite de ces considérations, on s'est déterminé à transformer le bassin dont il s'agit en un bassin à flot (wet dock).

Le premier travail, qui a été abandonné, avait coûté 470,252 livres (11,256,000 fr.), et le devis pour la transformation de ce port à marée en un bassin à flot (wet dock), s'élève à 122,000 livres (3,050,000 fr.).

Le mémoire se termine par quelques détails sur les vents dominants à Liverpool, et par quelques sondages pris dans le Mersey, entre Liverpool et Birkenhead.

Le second mémoire dont il est question dans cette séance, lequel a été nécessairement lu par extraits, à cause de son étendue, traite de l'État présent des connaissances sur la force et la résistance des matériaux, par M. Jules Gaudard, ingénieur civil à Lausanne.

L'auteur paraît s'être surtout attaché à établir que la théorie sur la force et la résistance des matériaux touche à d'obscurs problèmes, concernant la constitution physique des corps, et que, cependant, le caractère pratique de cette théorie oblige à employer des formules simples qui, par suite, ne peuvent pas être tout à fait rigoureuses; qu'un autre motif, justifiant l'écart d'une exactitude mathématique, c'est l'irrégularité des faits matériels.

S'il est bon, en effet, d'associer les sciences mathématiques avec les phénomènes physiques, il est incontestable que ces deux éléments, l'un toujours logique, l'autre fréquemment capricieux (je traduis), sont souvent séparés l'un de l'autre.

La Société décide que le mémoire de M. Godard sera imprimé, *in extenso*, et distribué aux membres qui désireraient prendre part à la discussion sur ce sujet.

On voit, par la conclusion qui vient d'être donnée des vues exposées dans l'ouvrage dont il s'agit, qu'il ne contient pas d'idée fondamentale nouvelle; néanmoins il peut être très-intéressant, au point de vue des faits et des expériences qu'il relate, et à celui des conséquences plus ou moins logiques qu'il en tire, mais c'est dans le mémoire complet, seulement, que ceux que le sujet intéresse pourront trouver ces détails.

NOTE

SUR LES

KAOLINS DE CERCEDILLA

Province de Madrid (Espagne).

PAR M. **A. PIQUET.**

Depuis plusieurs années que je dirige l'exploitation de ces kaolins, j'ai eu occasion de faire quelques études que je me propose de résumer dans cette note.

SITUATION. — Les mines se trouvent sur le versant Ouest de la vallée dans laquelle prend naissance le Rio-Guadarrama, qui dans cette première partie de son cours prend le nom de ruisseau de la Venta, qu'il garde jusqu'à sa jonction avec les torrents et ruisseaux qui descendent de l'Hoyo-Torrecillo, immense coupure verticale qui forme le versant méridional de la montagne de Siete Picos.

Le Guadarrama naît au col de la Fuenfria, à 1775^{m} au-dessus du niveau de la mer, ou à 1100^{m} au-dessus du niveau de Madrid (niveau de l'Observatoire), de differentes sources d'une eau pure et limpide dont la température prise en août et septembre 1861 par D. Cassiano de Prado, a été trouvée constamment de 6°.

Cette rivière court d'abord dans une vallée étroite formée par les versants Est et Ouest des ramifications du Monton de Trigo, un des points les plus élevés de la cordillère du Guadarrama pour l'Ouest, et de Siete Picos pour l'Est. Dans ce trajet, il reçoit de nombreux affluents torrentiels.

Cette vallée, très-resserrée sur une longueur de 6 à 7 kilomètres, s'élargit brusquement, terminant sa partie étroite à l'Ouest par la montagne de Peñota ou Cerro de tres Picos de près de 1700^{m} de hauteur, et à l'Est par le Cerro Colgado de 1291^{m} de hauteur environ, sur le versant Ouest duquel se trouve le village de Cercedilla.

GÉOLOGIE. — Un géologue de grand mérite dont je m'honore d'avoir

été l'ami depuis mon arrivée en Espagne (1866), et dont tous les hommes de science regrettent la perte récente, a publié en 1864 une description physique et géologique de la province de Madrid, dans laquelle il a étudié d'une façon générale la constitution du sol de la province, décrit les roches qu'il y a rencontrées, émis son opinion sur les divers soulèvements qui ont imprimé au sol son relief actuel, et expliqué la formation et les altérations des granites.

Après un semblable travail, il ne restait guère à faire que des études de détail ; je vais résumer celles que j'ai faites des environs de Cercedilla.

Considérée en masse, la composition du terrain qui nous occupe est d'une grande simplicité : le granite dans presque toutes les parties basses, à Peñota et à Siete Picos ; le gneiss au Monton de Trigo, à la Fuenfria et sur les trois quarts de la ligne de faîte du Monton de Trigo à Peñota.

Mais ces terrains sont soulevés et coupés par un grand nombre de roches et filons, et leur étude présente de sérieuses difficultés.

La vallée dans laquelle se trouvent les mines est traversée dans toute sa longueur par l'ancienne route que fit Philippe II pour aller de l'Escurial à Segovia, en passant par le col de la Fuenfria. Cette route passe près des mines Oyo Cerezo, Corralillos, Barranca et Vuelta de los Serradores, et conduit par des sentiers aux mines Lecharon, Poyalejos et Majavilan. De Cercedilla, partent trois chemins qui vont rejoindre cette route : le premier, le chemin d'en bas, la rejoint un peu plus haut que le pont des Reajos; le deuxième, celui d'en haut, fait sa jonction un peu plus bas que le pont de la Venta ; le troisième enfin, qui n'est qu'un sentier, passe par l'Église, le Cerro Colyado, le Cerro Corral de Moreno, le versant Ouest de Navarolaque, et rejoint la route un peu plus bas que le pont du Descalzo, près de la Majada de los Corralillos.

C'est en suivant ces divers chemins, le marteau à la main et en examinant les ruisseaux qui les traversent, que j'ai reconnu les différents filons et roches dont nous allons nous occuper.

Cercedilla est placé en grande partie sur le granite porphyroïde : à l'Ouest, un peu avant la sortie du village, il y a un affleurement puissant d'une roche noire à grains fins dure et compacte, à cassure conchoïde, que je crois être du trapp et dont la direction n'est pas déterminable. Un peu plus loin, en entrant dans le chemin d'en bas, on trouve un porphyre gris feldspathique, dont il est difficile de déterminer la puissance et la direction, pour les mêmes raisons qui ont empêché de le faire pour le trapp; c'est-à-dire parce que la terre végétale ne laisse que très-peu d'affleurement à découvert.

Ce porphyre traverse le granite rouge, qui paraît lui-même traverser le granite porphyroïde, lequel à son tour traverse le granite moyen et le granite arénacé, qui n'est que le même granite décomposé.

A la croisée du chemin d'en bas et du chemin du moulin d'en bas, qui est aussi celui de l'Ermitage de Santa Maria, se présente la diorite sye-

nitique, ou diorite à amphibole noir, de plusieurs mètres de puissance et de direction 0,6° N. environ, qui paraît avoir métamorphosé les argiles du granite décomposé qu'il traverse, en leur donnant un aspect schisteux.

Un peu avant la croisée du même chemin et celui du moulin de Cominero, la granulite affleure avec plus de 20 mètres de puissance, et une direction 0,7° S. à peu près, traversant le granite rouge et le granite porphyroïde.

Sur le chemin du moulin on rencontre le granite moyen coloré par le fer, le granite porphyroïde, le porphyre gris feldspathique avec direction apparente 0,4° S., et au pont des Reajos on retrouve la granulite compacte et les granites porphyroïdes.

Au point le plus élevé du chemin d'en haut, on trouve le trapp avec un affleurement de 2m de puissance et une direction 0,7° S. à peu près.

Suivant ce chemin en direction aux mines, on rencontre : le granite rose qui affleure 2 ou 3 fois, traversant le granite moyen verdâtre, noirâtre ou jaunâtre, selon son plus ou moins grand degré d'altération ; le porphyre noir à amandes fines de feldspath, de faible puissance et direction apparente E.-O. Puis de nouveau le granite rose qui se présente à la réunion de ce chemin avec la route de Philippe II.

Si de ce point, suivant la route, nous marchons en direction du pont des Reajos, nous rencontrons les mêmes granites roses, le même porphyre noir à amandes fines, 2 affleurements distant l'un de l'autre d'environ 10 mètres, de faible puissance, de diorite à amphibole vert avec granits de feldspath orthose rose et de quartz vitreux, de direction 0,42° S., et un filon argileux de 3 mètres de puissance.

Revenant au point que nous venons de quitter et continuant notre route en direction de la Fuenfria, nous retrouvons : les porphyres et les diorites décomposées traversant le granite moyen (qui est le granite dominant) et le granite Rouge, et produisant dans ce dernier des effets de métamorphose, comme la concentration du quartz et l'endurcissement (cela est surtout visible au pont de la Venta). Près de l'Hoyo Cerezo se trouve la fontaine del Capitan, fournissant d'assez mauvaise eau, qui procède des tourbières situées à peu de distance au N.-O. de ladite fontaine.

Ces tourbières sont formées de feuilles de fougère, de pin et d'herbe, qui se sont décomposées dans des dépressions du terrain ; l'herbe recouvre leur surface et les convertit en pâturage de médiocre qualité, là où le terrain a assez de consistance.

Elles n'ont d'ailleurs aucune importance industrielle, vu leur peu de puissance et leur mauvaise qualité.

Dans les ruisseaux qui se trouvent sur notre route, nous rencontrons des débris de gneiss, trapp, porphyre et quartz blanc, et nous arrivons aux mines de kaolin de l'Oyo de Cerezo.

C'est un filon puissant de 6 à 12 mètres, de direction N. 8° E. environ,

et d'inclinaison variable de 65 à 75° O. Il est composé de pegmatite impure, quartz blanc et feldspath des espèces labrador et orthose.

Le kaolin, qui n'est que le résultat de la décomposition de ces 2 feldspath, se trouve généralement au contact du quartz blanc.

Continuant notre route, nous passons sur un filon d'une roche blanche décomposée, friable, grenue, et contenant quelques rares grains de quartz vitreux, et qui paraît une leptenite; puis, comme toujours, nous rencontrons des débris de gneiss, granites, trapps, porphyres, etc. Nous arrivons aussi à Majavilan où nous trouvons un filon kaolinique assez différent de celui de l'Oyo Cerezo.

Il affleure peu à la surface; sa direction est sensiblement N. 18° E., son inclinaison 65° O., sa puissance 5 à 6 mètres. Il se compose de quartz feldspath labrador (qui conserve sa couleur bleuâtre), de steatite (qui conserve sa couleur jaunâtre et sa structure feuilletée) et aussi d'une roche composée de feldspath et de diallage.

Comme toujours, le kaolin le plus pur est au contact du quartz le plus blanc; mais ici par exception, l'argile blanche est toujours accompagnée d'argile de couleur vert noir plus ou moins foncée qui doit être le résultat d'une altération due au contact d'une roche verte à pâte magnésienne imprégnée de cristaux de diallage, qui est en terme moyen entre la serpentine et l'euptiotide et qui paraît couper ce filon kaolinique sous un angle assez aigu.

Cette roche magnésienne contient probablement du cuivre, car on trouve ce métal à l'état de pyrite et de carbonate dans certaines parties du filon de kaolin. Elle s'étend d'ailleurs au loin, traverse les granites, et paraît s'arrêter aux gneiss qu'elle altère fortement; sa direction et sa puissance, qui paraît considérable, sont difficiles à déterminer.

De Majavilan à la Barranca, rien de saillant; le plan de kaolin de la Baranca est de même nature que celui de l'Oyo Cerezo, sa direction est sensiblement N. 44° E., son inclinaison variable de 32° à 50° Ouest, et sa puissance 20 à 25 mètres.

A l'Ouest de ce filon et avec forte inclinaison à l'Ouest, apparaissent les gneiss; à l'Est, on n'en voit pas trace; cela paraît indiquer que le filon kaolinique a brisé les gneiss et les a protégés à l'Ouest des effets de la dénudation, tandis qu'à l'Est ils ont été complétement détruits, laissant à nu le granit moyen sur lequel il reposait.

En remontant de la Barranca par le ruisseau de Marichiva jusqu'à la ligne de faîte, et suivant celle-ci jusqu'au ruisseau de las Rozuelas, près de Peñota, on ne rencontre absolument que des gneiss plus ou moins fins, micacés ou feldspathiques, mais surtout porphyroïdes à grands cristaux de feldspath labrador bleuâtres. Tous ces gneiss fournissaient de magnifiques pierres d'ornement.

Dans le ruisseau de las Rozuelas, on trouve des débris de porphyres

feldspathiques à cristaux de $0^m,1$ à $0^m,015$ de diamètre, et de couleurs diverses. Ils procèdent des versants de Peñota qui sont en granite.

Si nous allons directement du Pont de la Venta par la route de Philippe II jusqu'à la Majada de los Coralillos, nous rencontrons en abondance le granite rose, principalement au pont du Descalzo, un peu avant d'arriver à la Majada de los Corralillos où il se présente assez compacte pour servir de pierre de construction.

Ce granit est composé de feldspath orthose rose, de mica de couleur obscure et mate avec tendance à prendre la couleur jaune, lui communiquant ainsi l'aspect chlorite, et de très peu de quartz.

Un peu plus haut, nous trouvons un tuf argilo-ferrugineux, produit de la décomposition des éléments ferrugineux des granites (les micas) par l'action de l'eau stagnante d'une tourbière située un peu au-dessus de ces tufs.

Un peu plus loin, nous retrouvons un affleurement kaolinique, qui n'a pas été étudié. Enfin plus au N. et à l'E. est le filon de la Vuelta de los Sernadores, avec direction N.-S. sensiblement. Sa composition est analogue à celle du filon de l'Oyo Cerezo, mais il est plus ferrugineux au moins dans la partie reconnue.

Si de ce point nous revenons à Cercedilla par le chemin de Navarolaque, Cerro Corral de Moreno et Cerro Colgado, nous rencontrons les mêmes roches que nous connaissons déjà, et surtout les granites roses et les granulites, qui abondent aussi de Cercedilla à la Venta ou Fonda de Navacerrada.

Pour nous rendre aux mines du Lecharon et de Poyalejos, nous prenons le chemin d'en bas, traversons le ruisseau de la Venta un peu avant sa jonction avec le ruisseau du Lecharon, et suivons le sentier qui monte entre le Cerro de la Mornilla et la Majada del Lecharon; sur notre route, nous rencontrons : le granite porphyroïde, le granite rose, les traps, les diorites et divers filons kaoliniques. Le quatrième de ceux-ci est le filon principal du Lecharon, le cinquième celui de Poyalejos.

Tous ont une direction comprise entre N. S. et N. 10° E. avec inclinaison de 70° à 90° Ouest. Le filon principal a près de 28 mètres de puissance.

C'est seulement au Lechavon que j'ai rencontré le porphyre quartzeux granitoïde avec direction apparente N. 44° E.

Dans la partie exploitée du filon de Lecharon, de 330 mètres de longueur, et sur une profondeur de 20 mètres, nous n'avons rencontré ni le porphyre quartzeux, ni la granulite.

Dans une galerie d'écoulement sensiblement perpendiculaire au filon, et qui, de 170 à 180 mètres qu'elle doit avoir une fois terminée, en a seulement 100 mètres de perforés, nous avons rencontré les roches suivantes :

Pegmatite avec direction sensiblement N-.S.

Granite décomposé et veinules de pegmatite.

Pegmatite et kaolin ; granite décomposé.

Granulite 20 mètres, puissance et direction sensiblement N. 55° E.; granit décomposé.

Granite moyen, demi-dur et pegmatite.

D'après l'étude de la surface, les roches qui restent à traverser pour terminer la galerie seront probablement les suivantes :

Porphyre quartzeux granitoïde, granite moyen dur, quartz et pegmatite, granite moyen très-dur, granite rose, pegmatite quartz et kaolin, qui est celui qui va chercher la galerie.

Le filon du Lecharon est de composition analogue à ceux de l'Oyo Cerezo et de la Barranca, mais plus régulier et de kaolin plus pur. Il est coupé entre les puits San Ildefonso et San Jose, et, près de ce dernier, par un filon de droite, de direction O. 42° S., qui produit un rejet d'environ six à sept mètres et inutilise la terre (qu'il a salie) sur une longueur de près de 60 mètres.

Enfin 228 mètres plus haut que le Lecharon et plus à l'Ouest, se trouve le puissant filon de Poyalejos, qui a les mêmes caractères extérieurs et la même composition, mais qui est encore peu connu.

Résumé géologique. — En résumé, le granite le plus ancien paraît le granite à grains moyens ; après vient le granite porphyroïde.

Les grands mouvements du terrain paraissent dus au granite rose, puis à la granulite.

Les autres roches, au moins en apparence, ont peu modifié le relief primitif du sol.

Les filons kaoliniques sont anciens, traversent les granites et la granulite, et sont traversés par les scorites et les euphotides.

Les granites à grain moyen, le granite rouge, le granite porphyroïde et les gneiss peuvent donner de belles pierres de construction et d'ornementation.

Anomalie. — Un fait curieux, dont je ne puis donner l'explication, est le suivant : Les eaux qui courent dans les terrains que nous venons d'étudier, ne sont habitées par aucun poisson, tandis que celles qui courent sur l'autre versant de la cordillère, du côté de la vieille Castille produisent en abondance d'excellentes truites.

Des sources. — Un fait, au contraire, facile à expliquer et qui peut rencontrer plus d'une utile application, est le suivant :

Il n'y a de sources que là où le terrain a été décomposé, croisé et fendillé par des roches ou filons.

Là seulement, en effet, ont pu s'emmagasiner les eaux de pluie et les eaux de fonte de neige.

Cette observation générale s'est vue confirmée dans tous mes travaux, et surtout dans ceux entrepris sur les filons kaoliniques, où j'ai toujours rencontré grande abondance d'eau.

FORMATION DU KAOLIN. — Le kaolin est dû à la décomposition des feldspath et pegmatites par l'eau, sous des influences électro-thermo-chimiques, difficiles à analyser, mais dont l'action est constante même aujourd'hui.

Effectivement, dans les terrains secs il n'y a pas de kaolin, la roche est entière ou présente, au plus, comme commencement de décomposition, un aspect fendillé.

Cette même roche exposée au soleil et à la pluie, à la gelée et au dégel, achève promptement de se décomposer et devient entièrement argileuse.

Enfin, de temps en temps, on trouve des preuves palpables de l'action dissolvante et décomposante de l'eau sur les roches, par l'existence dans les kaolins de véritables précipités chimiques, en grande partie composés de peroxyde de fer et de peroxyde de manganèse, qui ont été enlevés par dissolution aux roches environnantes, comme j'en ai trouvé aux mines du Lecharon et de la Darranca; et de peroxyde hydraté de fer, de carbonate et même de pyrite de cuivre, ayant même origine, comme il y en a à Majavilan.

J'ai fait analyser le dépôt noir qui se présente en bandes parallèles au kaolin dans les mines Barranca et Lecharon, dépôt auquel j'avais laissé partie du kaolin adhérent, et j'ai obtenu le résultat suivant :

Eau	8.40	35.56	substances enlevées par dissolution aux roches environnantes ou encaissantes.
Peroxyde de fer	22.87		
Peroxyde de manganèse	12.69		
Silice	29.80	52.05	kaolins.
Alumine	13.92		
Chaux	6.50		
Potasse	1.83		
Acide carbonique	3.60	3.99	substance accidentelle.
Perte	0.39		
	100	100	

qui justifie l'opinion avancée et nous montre que les feldspaths dominants sont le labrador et l'orthose, comme cela ressort du tableau suivant de la composition moyenne des principaux feldspaths.

	Orthose.	Albite.	Oligoclase.	Labrador.
Silice	64.40	68.00	63.70	57.18
Alumine	18.60	19.61	23.95	25.84
Potasse	17.00	—	—	—
Soude	—	11.12	8.11	—

	Orthose.	Albite.	Oligoclase.	Labrador
Chaux.	—	—	2.05	9.76
Chaux, potasse, oxyde de fer et manganèse.	—	1.27	2.19	7.22
	100.00	100.00	100.00	100.00

Exploitation du kaolin. — L'exploitation des kaolins se fait de la manière suivante :

Dans les parties solides, j'applique directement la méthode des gradins renversés. Dans les parties où les eaux rendent le terrain trop ébouleux, j'ai dû, après avoir fait une galerie d'allongement qui, donnant issue aux eaux, assainit partiellement les parties supérieures, procéder à l'exploitation par galeries superposées légèrement boisées, remplissant la galerie inférieure avec partie des déblais de la supérieure et transportant l'excédant des déblais au jour.

La terre ou argile est abattue à part, et, le triage des sables et parties ferrugineuses soigneusement exécuté à la main et au jour.

Les sables purs, blancs, sont déposés sur une aire pavée, où avec le temps et sous l'influence des variations atmosphériques, ils se transforment en kaolin.

La puissance moyenne en kaolin de ces mines est de 8 à 10 centimètres, donnant de 120 à 144 kilogrammes de terre d'une densité de 2.40 sèche, et contenant environ 67 pour 100 d'argile et 33 pour 100 de sables en grande partie feldspathiques.

La proportion de fer est insignifiante et serait certainement sans influence sur la blancheur des produits, si les terres étant soumises à la pourriture, le fer se dissolvait dans la masse au lieu de rester concentré en quelques points.

Prix de revient. — Les travaux s'exécutent généralement avec la pique, l'emploi de la poudre est l'exception ; elle n'a guère d'application que dans les travaux préparatoires.

Avec des journées à 2 francs, des bois de boisage à 0.40 le mètre et un roulage de 200 mètres en galerie étroite par chemin de fer et 100 mètres au jour, le prix de revient s'établit comme suit :

Dépense par mètre carré de filon.

Abattage.	3f 60
Extraction.	2 60
Triage.	0 40
Travaux préparatoires.	1 00
Boisage.	3 00
Huile, outils, réparations.	1 00
Total.	11f 60

Chaque mètre carré de filon produit, terme moyen, 130 kil. de terre; les 100 kilos reviennent donc à 8 fr. 92 c., tous frais compris, les frais généraux étant répartis dans les différents chapitres.

Ce kaolin sert à l'alimentation de la fabrique de faïence fine de Segovia. Son transport à cette fabrique coûte environ 1 fr. 90 les 100 kil. Son prix de revient à pied de fabrique est donc sensiblement 10 fr. 82.

Une exploitation sur une grande échelle permettrait d'abaisser d'une façon notable le prix de revient. Je crois qu'on arriverait facilement au prix de 6 fr. 50 les 100 kil. au pied de la mine, soit 8 fr. 40 c. à la fabrique.

NOTE

SUR

L'ESSAI DES PLOMBS ARGENTIFÈRES

PAR M. A. PIQUET.

Chargé de mettre en marche l'usine de Pattinsonnage de Santa-Lucia, à Carthagène (Espagne), en 1858 et 1859, je me suis occupé de la manière dont il nous convenait de prendre les prises d'essai sur les saumons, puis de la manière de faire les essais.

L'usage établi à Carthagène pour les prises d'essai sur les saumons de plomb est le suivant :

Le vendeur prend un essai au moyen d'un ciseau au point qui lui convient du saumon (cet essai pèse environ 5 grammes), l'acheteur en fait autant de son côté; et, ces prises d'essai réunies sont fondues en une plaque dont, à son tour, on prend des essais qui sont soumis à la coupellation.

Quelquefois encore, on ne prend qu'un seul essai par saumon, mais pour cinq saumons on les prend à leur partie supérieure, et pour cinq autres à la partie inférieure, et ainsi de suite.

En général, les essais pris sur les bords et ceux pris aux parties sales, sont les plus riches en argent.

En effet, l'argent se concentre dans les parties qui se refoidissent les dernières; et quant aux prises d'essai sur les parties sales, comme partie d'argent que les crasses contiennent, passe au plomb de la prise d'essai et que ces crasses sont rejetées de l'essai (suivant l'usage), il est évident qu'on obtient alors un résultat en argent supérieur à la réalité.

Il est donc très-important de faire ces prises d'essai d'une façon rationnelle.

J'ai trouvé qu'en prenant trois essais : l'un à la partie inférieure du saumon, à peu près aux 2/5 de sa longueur, l'autre latéralement peu à près au 1/5 de sa longueur, et l'autre aux 4/5 environ de la partie supérieure, on obtenait des résultats sensiblement exacts, à la condition de les prendre à des endroits propres.

Deux essais pris, l'un au centre de la partie inférieure du saumon,

l'autre à une des extrémités supérieures, donnent aussi des résultats suffisamment exacts.

Ces prises d'essai sont fondues dans un moule ordinairement rectangulaire et plan, en une plaque de peu d'épaisseur. On enlève les crasses qui se produisent à la fusion, on coupe la plaque en deux parties égales, dont l'une est remise au vendeur, et l'autre reste au pouvoir de l'acheteur, après toutefois avoir reçu toutes deux une même marque, qui en assure l'identité. C'est de ces plaques qu'on prend le plomb qui est soumis à la coupellation, pour déterminer la teneur moyenne des plombs soumis à l'essai.

L'usage de décrasser ces plaques porte préjudice à l'acheteur, dans une proportion plus ou moins considérable, suivant l'abondance des crasses, et l'exemple suivant le démontre d'une façon palpable.

Cent quintaux de plomb ont donné et donnent, terme moyen, à Carthagène, 4 quintaux de crasses plus ou moins plombeuses au titre de 1 once, 38 centièmes d'argent par quintal, et 96 quintaux de plomb au titre de 1 once, 90 centièmes; le type vrai en argent de ces 100 quintaux de plomb est donc seulement de 1 once, 8798 dix-millièmes, et non 1 once, 90 centièmes, comme l'accuse l'essai du plomb nettoyé de crasses[1].

L'influence des crasses varie, d'ailleurs, suivant la quantité plus ou moins grande d'argent qu'elles contiennent, ce qui dépend de leur composition.

Des 170 essais pris sur 11 plaques de forme et composition différentes, fondues dans des conditions variables[2], il résulte ce qui suit :

Il est important que les prises d'essai soient fondues dans un moule circulaire parfaitement nivelé; que la fusion s'opère à forte température; que le refroidissement soit graduel et égal dans toutes les parties, ce qu'on obtient en partie avec un moule en fonte, tourné et d'égale épaisseur partout; et que la plaque fondue ait une épaisseur qui ne dépasse pas 5 millimètres.

Pour obtenir ces résultats, j'ai employé un four à creusets, muni d'un registre à coulisse en terre réfractaire A, qui sert à isoler le moule du feu sans le bouger de place.

Le moule est placé sur une plaque de fonte, qui n'est distante de ce registre que ce qu'il lui faut pour son jeu. Cette plaque a une ouverture un peu plus grande que le diamètre extérieur du moule, et celui-ci repose sur elle par trois vis de calage qui servent à le niveler.

Avec un moule ainsi disposé, fermant le registre après fusion, et opérant dans une enceinte à l'abri de courants d'air, on obtient des plaques

1. Le quintal espagnol est de 46 kil., l'once de 28^{gr}.75^{c}, une once d'argent au quintal équivaut donc à 0^{k}.625 par tonne.

2. Les cotes en rouge représentent en onces et centimes d'onces les teneurs en argent, des prises d'essai, qui sont indiquées par un petit cercle noir.

de plomb d'uniforme épaisseur, dans lesquelles l'argent est réparti sinon d'une façon tout à fait uniforme, au moins d'une façon symétrique du centre à la circonférence, la teneur étant généralement plus grande à la circonférence qu'au centre.

Pour les plombs impurs, les différences de teneur du centre à la circonférence sont beaucoup plus grandes que pour les plombs purs; pour ces derniers, les différences sont peu sensibles.

Le plomb refondu présente l'argent réparti d'une façon beaucoup plus uniforme que le plomb de première fusion.

Ayant obtenu, comme je viens de le dire, des plaques de plomb à répartition symétrique de l'argent, la teneur vraie se trouve résulter de la moyenne d'un même nombre d'essais, pris à la circonférence et au centre.

Trois essais du centre et trois de la circonférence suffisent pour former cette moyenne, qui est la teneur vraie en argent du plomb essayé.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR M. PAUL GARNIER

PAR M. E. FLACHAT.

La Société des Ingénieurs civils a perdu cette année un de ses membres les plus distingués, M. Paul Garnier. Il a été enlevé aux nombreuses sympathies qu'il s'était créées parmi nous, à un âge où sa profonde intelligence et ses facultés, qu'il avait conservées intactes, faisaient espérer encore de précieux services dans la profession qu'il avait adoptée.

Paul Garnier fut plus qu'un artiste habile et ingénieux. Doué, comme praticien, d'une habileté de main extraordinaire, son esprit inventif et sa vive intelligence lui permettaient de s'assimiler les questions les plus diverses; il laisse, à côté d'œuvres remarquables par le mérite de l'exécution, une longue série de travaux qui lui ont fait une réputation des plus solidement fondées.

Jean-Paul Garnier naquit à Épinal (Vosges) au mois de novembre 1801. Son grand-père, né à Lunéville, dut à ses dispositions pour la musique d'être remarqué de Stanislas Leczinski, qui se l'attacha comme organiste et facteur d'orgues.

Son père, également organiste, mourut jeune, laissant son fils âgé de dix ans. Paul Garnier, obligé de songer aux nécessités impérieuses de l'existence, dut se mettre au travail.

Il débuta dans les imprimeries d'images d'Épinal, fit un premier apprentissage dans un atelier de serrurerie, qu'il quitta pour entrer chez un horloger.

Il était déjà très-habile ouvrier, quand il entendit parler d'un maître horloger de Luxeuil, dont la réputation était grande dans le pays; il se fit admettre chez lui et il y resta jusqu'au jour où celui-ci lui déclara que l'horizon de Luxeuil était trop étroit pour son instruction et il l'engagea à se rendre à Paris. C'était en 1820 : il débutait chez le célèbre Lépine, qui était dans toute la plénitude de sa renommée, et Garnier s'y fit aussitôt remarquer par l'achèvement de pièces d'horlogerie à effets astronomiques. Après cinq années de travail dans cet atelier, il sentit qu'il pouvait marcher seul, et, malgré la modicité des ressources qui lui restaient de ses derniers travaux, il s'établit pour son propre compte.

Dès 1826, il inventait et présentait à l'Académie des sciences un échappement libre à remontoir et à force constante, qui permettait d'obtenir la seconde avec un pendule de demi-seconde.

Cet échappement était basé sur un principe nouveau.

Le pendule en était soustrait à l'action variable de la force motrice, son mouvement était entretenu par une petite masse qui lui restituait directement, à chaque oscillation, la force nécessaire pour lui conserver son amplitude, laquelle s'accomplissait dégagée de tout frottement.

Cette pièce, examinée avec soin par MM. Arago, Molard et Mathieu, fut l'objet d'un rapport des plus élogieux.

En 1827, Paul Garnier présenta à l'examen du jury de l'Exposition un régulateur de précision, à données astronomiques, qui fit une grande sensation.

Entièrement fait de sa main, ce régulateur se distinguait par la beauté et le fini des pièces, pour l'exécution desquelles il avait voulu se passer du concours des machines; les pignons, œuvre de patience et de difficultés, avaient été taillés par lui à la main, et la régularité de leur forme et de leur division défiait l'œil le plus exercé; ce régulateur se distinguait en outre, et surtout, par la simplicité et la nouveauté du mécanisme au moyen duquel il était parvenu à indiquer un ensemble de faits astronomiques très-compliqué, et par l'exactitude des révolutions des rouages.

Ce régulateur représente la révolution annuelle du soleil, l'entrée dans les signes du Zodiaque, l'équation du temps, les levers et couchers du soleil, la révolution périodique, synodique et journalière de la lune, de ses phases, à quelques secondes d'erreur par an. Il y a aussi un balancier compensateur, également imaginé par Paul Garnier, d'un fonctionnement sûr et d'une grande simplicité.

L'effet que produit la lentille par les changements de température est compensé par deux masses mobiles qui agissent en sens inverse, de façon à maintenir incessamment à la même longueur le centre d'oscillation du pendule.

Cette pièce, si remarquable, fut récompensée d'une médaille d'argent. (*Rapport du jury central, M. Héricart de Thury et Migneron*, 1827.)

Ses connaissances approfondies des questions les plus difficiles de l'horlogerie eurent bientôt mis P. Garnier en rapport avec les artistes les plus célèbres et les plus instruits de l'Europe, entre autres avec Antide Janvier, qui fut fier de compléter le savoir « d'un jeune homme donnant d'aussi grandes espérances, » et de lui laisser le titre de son élève.

En 1829, Paul Garnier présentait à l'Académie des sciences un sphygmomètre, instrument qui traduit à l'œil les mouvements artériels du sang qui, jusqu'alors, n'étaient appréciables qu'au toucher, et qui devint en peu de temps indispensable pour l'étude de la circulation du sang; le

docteur Marey a su tirer un parti très-intéressant du sphygmomètre, en y ajustant récemment un mode de traçage graphique.

Il fut approuvé par un rapport de l'illustre Magendie.

En 1830, l'invention d'un nouvel échappement, principalement applicable à l'horlogerie portative, lui permit, par ses dispositions simples et les moyens d'exécution prompts et faciles, de modifier et de répandre un nouveau genre d'horlogerie, celui des pendules dites *de voyage ou de voiture*, qui jusqu'alors, vu leur prix élevé, n'avaient été accessibles qu'aux gens riches.

Ce genre d'horlogerie eut un tel succès qu'il se répandit promptement et qu'aujourd'hui il est devenu la source d'un commerce si grand qu'il s'en fabrique en France pour plusieurs millions.

En 1834, P. Garnier présentait à l'Exposition une série de pendules de voyage, de dispositions toutes nouvelles, dont quelques-unes, dit le rapporteur, M. le baron Séguier, « présentent des combinaisons remarquables; une, « entre autres, donnant sur divers cadrans l'indication du « jour, de la date du mois et les phases de la lune, etc., etc. »

En 1839, il présentait, outre un ensemble des mêmes pendules, dont il avait développé la fabrication, des chronomètres de bord pour la marine auxquels il avait fait l'application d'un échappement libre à remontoir et à force constante, établi d'après les mêmes principes que celui qu'il avait imaginé en 1826.

Par cette nouvelle combinaison le balancier décrit des arcs rigoureusement égaux en étendue, quelles que soient, d'ailleurs, les imperfections des rouages et les inégalités de la force motrice.

La facile exécution de cet échappement, l'emploi d'un rouage ordinaire, au lieu du rouage à fusée si soigné des autres chronomètres lui permirent de livrer ces pièces d'une grande précision dans des conditions de bon marché jusqu'alors inconnues.

Il présentait, en même temps, un thermomètre métallique à *minima* et à *maxima* et un micromètre d'une sensibilité telle qu'il rendait appréciable à la vue 1/3000 de millimètre.

En dix années, Paul Garnier avait acquis une belle réputation et son habileté lui avait valu la clientèle des grandes industries. En 1842, il réalisait, à la demande de MM. Schneider frères, au Creusot, le compteur, instrument qui, mis en rapport avec un organe quelconque des machines, avait pour but d'en constater les révolutions et les mouvements, et dont les chiffres, rangés sur une seule ligne, permettaient la lecture facile et prompte du nombre.

Depuis, cet instrument est devenu d'une telle nécessité qu'il en est sorti un nombre considérable de ses ateliers, et qu'il n'est pas d'usines ou de machines où il n'ait été appliqué.

Quelque temps après, il complétait les indications de ce compteur, en y adjoignant un mouvement d'horlogerie indiquant les heures, minutes

et secondes, et dont la marche put être subordonnée à celle du compteur par l'intermédiaire d'une aiguille placée sur la face de l'instrument de façon que l'horloge s'arrête lorsque le compteur cesse de marcher, et réciproquement ; ce qui permet d'enregistrer à la fois le nombre de révolutions ou de périodes de mouvements d'une machine et la durée totale de son fonctionnement.

Les moyens de contrôle que présentait cet ingénieux instrument le firent promptement adopter par le ministère de la marine et le ministère des finances qui en ordonnèrent l'application aux bateaux à vapeur de l'État, ainsi qu'aux paquebots de la Méditerranée.

A la même époque, cet instrument fut employé par M. Petiet, alors ingénieur de l'exploitation du chemin de fer de Versailles (rive gauche) pour les expériences auxquelles la locomotive à détente variable, *la Mulhouse*, de MM. J.-J. Meyer fut soumise par ordre du ministre des Travaux publics, devant la Commission composée de M. Le Châtelier, Baude et Bineau; et plus tard aux essais qui furent continués sur le chemin d'Orléans.

Le compteur Garnier a servi dans toutes les industries à un si grand nombre d'observations, il est devenu d'un usage si général, qu'il serait inutile de rappeler les services qu'il a rendus. Nous nous bornerons à quelques extraits des rapports d'un des ingénieurs qui en fut l'un des principaux promoteurs :

« Pour les locomotives, le compteur donnant le nombre de tours de roue, et par conséquent l'espace parcouru par leur circonférence, constate la différence entre cet espace et la distance réellement parcourue par les machines, desquelles on déduit le glissement.

« Il détermine encore le travail qui a eu lieu dans les gares pour le service et pour l'alimentation des machines.

« Avec l'horloge simultanée, le compteur constate le nombre de tours et le temps pendant lequel la machine a fonctionné.

« A l'arrivée d'un convoi dont l'heure de départ a été notée sur la feuille du conducteur, le compteur à chronomètre indique — par l'horloge, le temps pendant lequel la machine a fonctionné; — par le compteur, l'espace parcouru par les roues.

« La différence avec le total du trajet donne la durée totale du temps d'arrêt aux stations intermédiaires et fait connaître la vitesse moyenne du train.

« Le compteur à horloge permet de comparer en tout temps le combustible fourni à une machine avec l'espace qu'elle a parcouru, et son temps total de travail.

« Pour les bateaux à vapeur, le compteur à horloge indique le nombre de tours et l'espace parcouru par les aubes ou l'hélice dans un temps donné, ainsi que le temps du travail de la machine.

« Les variations d'effets de la machine, causées par un courant ou par un tirant d'eau différent, sont aussi indiquées par lui.

« Le temps dépensé aux stations et le temps que le bâtiment a marché à la voile sont indiqués par l'horloge, qui donne ainsi la différence entre le temps total de marche de la machine et celui du trajet.

« Par rapport à la distance parcourue par le bateau, il donne la vitesse du moteur et en permet la comparaison avec celle du bateau; par rapport à la quantité de vapeur dépensée, le compteur donne le nombre de cylindrées; par rapport à la consommation du combustible, il donne la dépense par heure de travail réel, par cylindrées ou tours de roue; par rapport au travail de la vapeur, s'il est fourni par un indicateur, le compteur donne la quantité d'eau vaporisée déduite du poids spécifique de la vapeur à la pression indiquée dans le cylindre.

« L'instrument, mis en communication avec le plongeur, donne le volume d'eau entré dans la chaudière pendant un temps donné, et permet de comparer ce volume d'eau avec la vapeur fournie aux cylindres, d'où l'on peut déduire la proportion du mélange d'eau dans cette vapeur. »

A la même époque, P. Garnier, à la sollicitation des membres du conseil des travaux de la marine, avec lesquels l'emploi des compteurs lui avait créé de fréquents rapports, construisit l'indicateur dynamomètrique.

Reprenant l'idée primitive due au génie de Watt, il fut assez heureux pour lui faire subir plusieurs modifications utiles qui, jointes aux soins minutieux apportés dans l'exécution, les firent juger, après de nombreux essais, supérieurs à ceux connus précédemment, et sur la proposition du Conseil de l'Amirauté, le ministère de la marine décida que tous les bâtiments de l'État devraient en être pourvus, et qu'il ne serait désormais reçu aucune machine sans qu'au préalable elles fussent soumises au contrôle de cet appareil.

L'indicateur, indispensable pour bien connaître le régime de la vapeur dans les cylindres des machines, représente par un tracé graphique le travail de la vapeur, sa tension, le degré de vide obtenu dans la condensation. Il fournit des indications précises sur la force motrice transmise, il offre le moyen de constater les conditions de fonctionnement de la distribution et la somme de force perdue par les déréglements.

D'une utilité incontestable, surtout à une époque où débutait la fabrication des machines, l'usage s'en répandit promptement. Il servit aux investigations qui ont donné lieu aux plus intéressantes publications sur la puissance des machines.

A l'Exposition de 1844, le jury, reconnaissant « que les titres de « M. P. Garnier à tout son intérêt sont nombreux; que son esprit inven- « tif est attesté par des créations mécaniques de plus d'un genre; que « M. Paul Garnier est à la fois habile horloger, bon constructeur d'ap- « pareils et ingénieux mécanicien, voulant récompenser en la personne

« de cet artiste, à la fois, l'horloger instruit et le mécanicien ingénieux, « lui décerne la médaille d'or. »

Paul Garnier compléta ensuite les deux instruments précédents, en en réalisant un troisième, l'indicateur totalisateur du travail développé par la vapeur, l'air ou les gaz dans un cylindre de machines, qui résumait en lui les doubles indications des deux premiers.

Cet instrument, déjà mis en usage en Angleterre par le professeur Moseley, perdit bientôt son origine britannique par les heureuses modifications que Paul Garnier lui fit subir, en substituant le plateau horizontal, à mouvement alternatif, de Poncelet, au cône planimétrique à mouvement continu employé par Moseley, et en ajoutant une disposition pour tracer des courbes et obtenir des diagrammes.

Paul Garnier en construisit plusieurs, dont un pour les galeries du Conservatoire des arts et métiers.

Ce dernier instrument fut présenté en dehors de lui à l'Académie des sciences, et donna lieu à une polémique assez vive entre lui et M. Lapointe.

La première application, en France, de cet instrument fut faite par nous, sur les cylindres pneumatiques du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, et il servit pour apprécier exactement la puissance développée par ces derniers pour faire mouvoir le convoi, en comparant cette puissance à celle des cylindres à vapeur et à celle du piston propulseur, le degré de raréfaction de l'air, les diverses phases de la recompression pour donner issue à l'air dans l'atmosphère, ainsi que le jeu des soupapes.

P. Garnier a inventé des appareils pour assurer la sécurité de la circulation des trains sur les voies ferrées. Ces appareils, indicateurs horaires, se composaient d'un mouvement d'horlogerie avec cadran placé près de la voie, sur lequel une aiguille marquait les minutes et revenait à zéro après chaque passage de train, de façon à indiquer le temps écoulé entre le passage de deux trains successifs; le retour de l'aiguille se faisait au moyen d'un déclic manœuvré par le train à son passage près du cadran. Un de ces appareils fut longtemps en usage aux aiguilles de Colombes. Un grand nombre en furent installés et fonctionnèrent assez longtemps sur les voies des chemins de fer du Nord et d'Orléans.

En 1845, au moment où avaient lieu les premiers essais de télégraphie électrique, P. Garnier prenait une part au concours ouvert, et présentait un système de télégraphe à cadrans et à lettres.

Son système n'ayant pas prévalu, Paul Garnier, prévoyant tout le parti que l'on pourrait tirer de l'application comme force motrice de l'électricité à l'horlogerie, tourna ses recherches en ce sens, et dès 1847, il présentait à l'Institut et à la Société d'encouragement un système d'horloges électriques, donnant l'heure synchroniquement, qui furent à cette époque les premières et les seules qui existassent en France.

A l'Exposition de 1849, il en fit une installation complète qui lui valut une nouvelle médaille d'or.

Le conseil des bâtiments civils proposa à M. le ministre des travaux publics d'adopter le système d'horlogerie électrique inventé par P. Garnier, pour les bâtiments placés sous sa direction.

Les premières applications publiques en France en furent faites simultanément à la gare de Lille, au chemin de fer du Nord; aux stations du chemin de fer de Paris à Chartres; à la gare Saint-Lazare, etc.

Ce système se répandit promptement, et il est en usage dans la plupart des monuments publics ou des grandes administrations.

P. Garnier dut à l'amitié ou à la sympathie que lui portaient la plupart des ingénieurs de chemins de fer, la fabrication des horloges monumentales, et des appareils chronométriques spéciaux pour les stations.

A l'Exposition universelle de 1855, il présentait une variété nombreuse d'horlogerie électrique, dont l'usage s'était de plus en plus généralisé.

Une des applications les plus remarquables de son système, dit M. Becqueret, le rapporteur, est « celle qu'il fit à une pendule n'ayant ni « poids ni ressort moteur.

« Cette pièce, appelée régulateur électro-magnétique, marque la seconde « et la transmet à un nombre indéterminé d'appareils qui, placés sur les « lunettes dans un observatoire, peuvent donner une seconde synchro- « nique aux observateurs appelés à suivre simultanément les phases d'un « phénomène. »

Un régulateur semblable servit à M. Leverrier pour déterminer la différence exacte entre la longitude de Paris et celle du Havre.

Il présentait en même temps un rouleau automatique pour la composition et la transmission rapide et régulière des signes télégraphiques de l'alphabet de Morse.

Cet appareil était le complément indispensable du télégraphe américain qui venait d'être récemment adopté par l'Administration des télégraphes.

Il permettait de composer à l'avance, comme pour l'imprimerie, un certain nombre de dépêches, et lorsque la composition était terminée, le rouleau livré à un rouage ou à un moteur transmettait par son mouvement de rotation et dans plusieurs directions à la fois les signes qui avaient été composés sur sa surface.

« Le jury, pour récompenser le développement et le perfectionnement « apportés par Paul Garnier aux horloges et appareils électriques, lui « décerna une médaille d'honneur. »

En 1858, à l'Exposition universelle de Dijon, le jury central lui décerna une médaille d'or pour l'ensemble de ses travaux.

En 1860, à l'Exposition universelle à Besançon, à laquelle l'horlogerie suisse et de Genève vint plus particulièrement se mesurer avec les produits français, Paul Garnier fut choisi pour être membre du jury, et

enfin, en 1860, en rémunération de ses nombreux services, de ses ut
et importantes inventions, il fut nommé chevalier de la Légion d'honn
sur la proposition de M. le ministre des travaux publics.

Membre de la Société d'encouragement pour l'industrie nouv
Paul Garnier faisait partie de la Société des Ingénieurs civils de
1852.

En 1861, quelque temps après l'annexion de la Savoie, Paul Gar
fut choisi par M. le ministre des travaux publics pour étudier l'état d
fabrication de l'horlogerie dans le Chablais et le Faucigny où ce tr
se prête si bien aux habitudes des habitants et aux conditions clim
logiques.

Après une étude approfondie de cette fabrication, comparée
celle de la Suisse, Genève et Besançon, il fit un rapport très-détaill
servit à éclairer le ministre sur les encouragements à donner aux
blissements d'horlogerie de la Savoie française.

La vie de Paul Garnier a été, on le voit, une lutte du talent et du
vail contre les obstacles accumulés devant l'ouvrier qui ne peut d
qu'à lui-même l'instruction sans laquelle son intelligence et son co
resteraient impuissants. Cette lutte a commencé au premier âge e
fini qu'avec la vie. Paul Garnier s'est instruit en travaillant; il a fon
bel établissement; il a conquis l'estime et presque toujours l'affecti
ceux pour lesquels et avec lesquels il a travaillé. En homme qui a
contre l'ignorance, il a élevé une famille nombreuse et distinguée, en
sacrant la meilleure part de ses revenus à l'éducation et à l'instructi
ses enfants. Ainsi cette vie a été complète. Elle a laissé, avec les s
nirs les plus honorables, un grand exemple à suivre et d'una
regrets.

Pourquoi de tels exemples sont-ils rares? C'est que l'instrume
cette existence laborieuse était une conscience inflexible. Exac
l'œuvre de ses mains, dans sa parole, dans ses affaires, dans tous l
tails, dans toutes les règles de la vie, ses idées ont fructifi
l'influence des soins scrupuleux et persévérants qu'il mettait à ch
de ses œuvres; toutes ses relations se sont fécondées par l'estime
spirait la solidité de son caractère.

A de telles mémoires un simple récit des œuvres accomplies
plus bel et le seul éloge. C'est ce que nous avons voulu faire, par
pendant trente ans nous avons été témoins des travaux dont nous
d'esquisser l'histoire.

Paris. — Imprimerie de VIÉVILLE et CAPIOMONT, rue des Poitevins, 6.
IMPRIMEURS DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

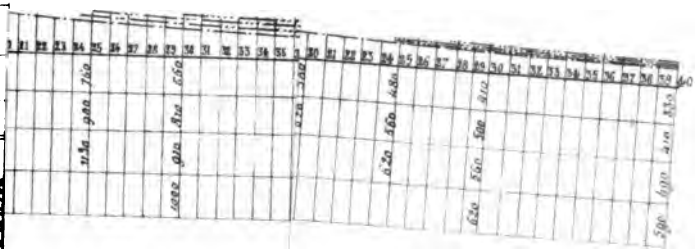
Locomotives à 4

ES CHARGES. (4)

essieu P = 5000.k
la voie δ = 1m80

ORDINAIRES. (5)

ssieu P = 3000.k
voie δ = 1m80



tuve à voy

HARNAIS (2)

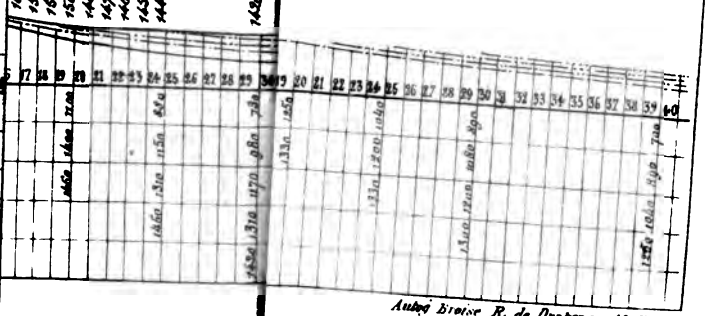
DE SUCRES. (3)

1 essieu P = 11000.k
ou
2 essieux P = 8000.k

ssieu P = 7000.k
voie δ = 1m90

de la voie δ = 2m10

Courbe envel



voie sin

Aubry Frères, R. de Dunkerque. 43. Paris.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1869)

N° 7

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Jurisprudence en matière de marchés de terrassements*, par M. Nordling (séance du 16 juillet, page 364).

2° *Fer et acier* (propriétés élastiques et résistantes du), ouvrage de M. Kunt Styffe, traduit du suédois en anglais, par M. Sandberg (séance du 16 juillet, page 364).

3° *Affinage de la fonte par la vapeur surchauffée*, par M. Galy-Cazalat (séance du 16 juillet, page 367).

4° *Contre-vapeur* (marche à), par M. Fellot (séance du 6 août, page 375).

5° *Chemin de fer d'intérêt local*, par MM. Nordling et J. Morandière (séances des 6 août et 17 septembre, pages 380 et 400).

6° *Poids utiles et poids morts traînés par les locomotives, en* 1867, *sur le London and North-Western railway*, traduction par M. Marché de la note de M. Haughton (séance du 6 août, page 384).

7° *Niveau d'eau*, système Richer, par M. Arson (séance du 20 août, page 389).

8° *Mines d'argent de la Névada et du Colorado*, par M. Simonin (séance du 20 août, page 389).

9° *Cinématique industrielle, et notamment dans la filature automatique en général* (Application spéciale de la), par M. Armengaud jeune fils (séance du 20 août, page 391).

10° *Tuyaux de plomb revêtus intérieurement d'étain* (Coulage des), système de M. Grand fils, par M. J. Morandière (séance du 17 septembre, page 401).

11° *Grue à équilibre automatique*, par M. Contamin (séance du 17 septembre, page 402).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Nordling, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude sur la Jurisprudence en matière de marchés de terrassements.*

2° De M. Sandberg, membre de la Société, un exemplaire d'un ouvrage, intitulé *The elasticity, Extensibility, and tensile strengthe of iron and steel, par Knut Styffe.*

3° De M. Carénou, membre de la Société, un exemplaire d'une photographie et le dessin d'une *Voiture de première classe à impériale couverte, construite pour le chemin de fer à traction de chevaux de Montévidéo au Cerro.*

4° De M. Koller, ingénieur, un exemplaire de l'*Enquête technique et commerciale ordonnée par le Gouvernement italien, sur les projets de chemins de fer des Alpes helvétiques.*

5° De M. Bonnataire, membre de la Société, une note sur un *Appareil appelé Multiplicateur inexplosible de vapeur*, de M. Petit-Pierre.

6° De M. Chauveau des Roches, membre de la Société, un exemplaire de son *Etude sur les chemins de fer d'intérêt local.*

7° De M. Jordan, membre de la Société, un exemplaire de sa *Revue de l'industrie du fer en* 1867.

8° De M. Ronna, ingénieur, un exemplaire de sa notice sur l'*Emploi des eaux d'égouts.*

9° De M. Haughton, ingénieur, un exemplaire de sa notice intitulée : *The Paying and the non Paying Weights pulled by the locomotive engine.*

10° De M. Leloup (Joseph), membre de la Société, un exemplaire d'une note sur l'*Examen critique du régime des fabriques, raffineries de sucre.*

11° De M. Le Breton, un exemplaire d'une note sur le *Chemin de fer d'intérêt local de Coulommiers à La Ferté-Gaucher.*

12° De M. Gruner, un exemplaire de son *Etude sur l'acier.* — *Examen du procédé Heaton.*

13° De M. De Lacolonge, un exemplaire de son *Examen de divers moyens propres pour faire contribuer la traction à l'adhérence des locomotives;* un exemplaire de sa note sur l'*Ecoulement des eaux de toiture;* et un exemplaire d'une brochure intitulée : *Un puits doit-il être ouvert ou foncé?*

14° De M. Ferdinand de Lesseps, membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport de la commission de vérification des comptes, résolutions de l'assemblée générale* de la Compagnie du Canal de Suez.

15° De M. Lacroze, membre de la Société, un exemplaire de son *Estudio sobre Aguas-Corrientes, Cloacas y adoquinado para la Ciudad de Buenos-Aires.*

16° De M. Cialdi, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur le *Phénomène du flot courant, à propos du naufrage de la frégate russe* Alexandre-Newski.

17° De M. Marguti, un exemplaire de son *Esposizione di un sistema di locomotiva e Ferrovia à Norti pendenze pel passaggio delle Alpi.*

18° Un exemplaire du *Compte rendu des voies et travaux du chemin de fer Grand-Central belge.*

19° De M. Sautereau, un exemplaire de son mémoire sur les *Chemins de fer d'intérêt local; réseau romorantinois.*

20° De M. Bontemps, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Chemins de fer départementaux.*

21° De M. Bouquié, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur le *Touage sur chaîne et sur câble métallique.*

22° *Annales industrielles*, les numéros du troisième trimestre 1869.

23° De la Société des ingénieurs civils d'Écosse, leur bulletin du troisième trimestre de 1869.

24° De l'institution *of Mechanical Engineers*, les numéros du premier semestre 1869 de son bulletin.

25° *De la Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin du deuxième trimestre 1869.

26° De la *Revue horticole*, les numéros du troisième trimestre 1869.

27° De la *Gazette du Village*, les numéros du troisième trimestre 1869.

28° De la *Société des ingénieurs autrichiens*, les numéros du deuxième trimestre 1869; leur *Revue périodique*.

29° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, le numéro 4 de 1869.

30° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, le numéro du quatrième trimestre 1868 de son bulletin.

31° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du troisième trimestre 1869.

32° De la *Revue d'architecture*, les numéros 5, 6, 7 et 8 de l'année 1869.

33° De la Revue *les Mondes*, les numéros du troisième trimestre 1869.

34° Du journal *The Engineer*, les numéros du troisième trimestre 1869.

35° De la *Société d'encouragement*, les numéros du troisième trimestre 1869 de son bulletin.

36° De la *Société de géographie*, les numéros du troisième trimestre 1869 de son bulletin.

37° De la *Société impériale et centrale d'agriculture*, les numéros de mars, avril, mai et juin 1869 de son bulletin.

38° Du journal *l'Invention*, les numéros du troisième trimestre 1869.

39° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du troisième trimestre 1869.

40° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du troisième trimestre 1869.

41° De la *Revue contemporaine*, les numéros du troisième trimestre 1869.

42° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du troisième trimestre 1869.

43° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du troisième trimestre 1869.

44° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du troisième trimestre 1869.

45° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du troisième trimestre 1869.

46° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du troisième trimestre 1869.

47° Du journal *le Cosmos*, les numéros du troisième trimestre 1869.

48° Du *Génie industriel*, les numéros du troisième trimestre 1869.

49° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du troisième trimestre 1869.

50° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du premier trimestre 1869.

51° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du troisième trimestre 1869.

52° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du troisième trimestre 1869.

53° Du *Propagateur des travaux en fer*, les numéros du troisième trimestre 1869.

54° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du troisième trimestre 1869.

55° De la *Propagation industrielle*, les numéros d'avril, mai, juin, juillet et août 1869.

56° Du journal *Engineering*, les numéros du troisième trimestre 1869.

57° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de juin, juillet et août 1869.

58° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le premier numéro de son bulletin de 1869.

59° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome V de la troisième série de son bulletin.

60° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs minutes of Proceddings de 1867-1868.

61° *Société des Ingénieurs anglais*, le numéro de leurs transactions pour l'année 1868.

62° Du *Comité des forges de France*, les numéros 48, 49 et 50 du bulletin.

63° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de juin, juillet et août 1869 de son bulletin.

64° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du troisième trimestre de 1869 de son bulletin.

65° Des *Annales des mines*, le numéro de la première livraison de 1869.

66° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1868.

67° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, les numéros du troisième trimestre 1869.

68° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du troisième trimestre 1869.

69° *Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du troisième trimestre 1868 de son bulletin.

70° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, numéros du premier et deuxième trimestre 1869.

71° De la *Société des anciens Élèves des Écoles impériales d'arts et métiers*. Les numéros de son bulletin du troisième trimestre 1869.

72° De la *Société Vaudoise des Sciences naturelles*, le numéro d'avril 1869 de son bulletin.

Les Membres admis pendant le troisième trimestre sont :

Au mois de juillet :

MM. Boulet, présenté par MM. Ball, Goumet et Mollard.
Cassas, présenté par MM. Callon, Contamin et Vigreux.
Cournerie, présenté par MM. Love, E. Muller et Richard.
Danjou, présenté par MM. Alcan, Brüll et Petiet.
Jonte, présenté par MM. Alcan, Fiévet et Jordan.
Gallais, présenté par MM. Callon, Desnos et Vigreux.
Kohn, présenté par MM. Alcan, E. Flachat et J. Morandière.
Laming, présenté par MM. Alcan, Alquié et Arson.
Wolmeringer présenté par MM. Laurent, Loustau et Muller.

Comme Membres associés :

MM. Durand, présenté par MM. Alcan, Brüll et Simon.
Gérard, présenté par MM. Alcan, Barberot et P. Thomas.
Geyler, présenté par MM. Barrault, Fievet et Forquenot.
Léon, présenté par MM. Alcan, Alquié et H. Tresca.
Moïse, présenté par MM. Alcan, Brüll et Petiet.

Au mois d'août :

M. Thoulet, présenté par MM. Callon, Foucou et Laurens.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1869

Séance du 16 Juillet 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est adopté.

M. Nordling présente à la Société un exemplaire du livre qu'il vient de faire paraître, chez Dunod, sur *la Jurisprudence en matière de marchés de terrassements.*

Ce titre indique suffisamment qu'il s'agit surtout de la prétention de certains entrepreneurs de s'affranchir des prix de déblai de leur contrat, sous prétexte d'erreur ou d'imprévision.

La note de M. Nordling donne le texte de nombreux et récents arrêts qui prouvent qu'il ne suffit plus de formuler cette prétention pour la faire triompher.

Le nouveau livre paraît donc devoir intéresser tous ceux qui s'occupent soit de la rédaction des marchés de terrassements, soit de leur exécution.

Mais il semble devoir être accueilli surtout avec faveur par ceux de nos collègues qui s'occupent d'arbitrages, et qui sont intéressés à voir adopter leurs rapports par les tribunaux, ce à quoi ils n'ont pas toujours réussi.

Qu'on ne croie pas du reste que M. Nordling n'ait publié que les arrêts favorables à sa thèse. Non, il a publié également les décisions tant invoquées par les entrepreneurs, telles que celles intervenues dans les affaires Oliva, Lann, Nercam, Langlois, Strackmann, etc. Mais, loin de les considérer comme contraires, M. Nordling croit qu'elles ne font que confirmer la doctrine, et qu'en se plaçant au vrai point de vue tous ces arrêts, soi-disant contradictoires, s'accordent à merveille entre eux et avec les principes du Code Napoléon.

M. Nordling ne veut pas en dire davantage, car M. E. Flachat a bien voulu s'offrir pour rendre compte prochainement à la Société du nouveau livre en question.

M. Brüll présente à la Société un ouvrage de M. Knut Styffe, sur les Propriétés

élastiques et résistantes du fer et de l'acier, traduit du suédois en anglais par M. Sandberg, ingénieur suédois, chargé depuis plusieurs années de surveiller en Angleterre la fabrication du matériel commandé par le gouvernement pour ses chemins de fer.

Cet ouvrage, à la fois scientifique et technique, complète les documents qui ont paru depuis quelques années sur ce sujet. C'est le compte rendu d'expériences faites avec le plus grand soin et la plus grande précision par M. Styffe, pour élucider les questions sur lesquelles la Diète nationale avait appelé l'attention du gouvernement: à savoir si les fers de Suède convenaient à la fabrication du matériel fixe et roulant, et si leur qualité supérieure ne compensait pas leur prix de revient plus élevé.

Les essais ont été généralement faits par traction sur des barres placées horizontalement, de 1m,50 de longueur et de 125 millimètres carrés de section, les unes brutes de forge, les autres ajustées à la lime. On produisait les tractions avec la presse hydraulique, et on les mesurait par des poids à l'aide d'un levier à bras inégaux. Les précautions les plus minutieuses ont été prises pour assurer la plus grande exactitude dans l'évaluation de toutes les grandeurs entrant dans les calculs. Les appareils et les procédés d'expérimentation sont décrits en détail dans l'ouvrage, et le degré d'approximation est établi par des calculs spéciaux.

La détermination de la limite d'élasticité a été l'objet de recherches particulières, pour lesquelles l'auteur a fait intervenir d'ingénieux artifices.

Les échantillons essayés, au nombre de 3 à 400, sont principalement : des fers puddlés et aciers puddlés n° 2, fabriqués spécialement pour les essais par une forge suédoise, avec diverses matières de fonte du pays, de l'acier Bessemer et du fer Bessemer de divers établissements suédois, de l'acier fondu de Dalécarlie, de l'acier Krupp, du fer puddlé anglais, de Low Moor et autres provenances, des échantillons détachés d'un rail de fabrication anglaise. La teneur en carbone, silicium et phosphore a été recherchée dans de nombreuses analyses.

D'une première série d'expériences faites à la température ordinaire, il résulte que les allongements permanents dépendent de la composition chimique, du mode de fabrication et de la manière dont les charges sont appliquées.

Les actions mécaniques ont sur la limite d'élasticité la résistance et l'allongement total, une influence très-accusée.

Le martelage à froid et le laminage à froid augmentent la limite d'élasticité et la résistance à la rupture, mais diminuent l'allongement. L'action de la chaleur produit des effets inverses.

Plus la teneur en carbone est élevée, plus la solidité augmente, et plus la ductilité diminue.

Le phosphore en petite quantité semble avoir un effet analogue.

La trempe élève la limite d'élasticité, même pour le fer. Suivie d'un recuit approprié, elle augmente la résistance à la rupture. Sans recuit, elle diminue notablement la solidité de l'acier.

Le coefficient d'élasticité dépend moins pour chaque matière de la nature même du métal que de la façon dont il a été travaillé.

La traction, le martelage diminuent l'élasticité ; l'application de la chaleur l'augmente. Elle paraît dépendre beaucoup de la densité. Le coefficient d'élasticité serait en nombre rond de 22,400,000 kilog. pour le fer forgé ou laminé de 7,8 de densité, ne contenant que des traces de phosphore. Il serait seulement de 20,000,000 de kilog.

pour le fer chargé de laitier et cassant à froid, et s'élèverait à 25,000,000 de kilog. pour le métal Bessemer de densité 7,88.

Le second chapitre est consacré à l'application des résultats exposés, à la détermination de la valeur relative pour les diverses applications du fer et de l'acier. Les conclusions de l'auteur tendent à l'emploi le plus général de l'acier, et surtout de l'acier Bessemer.

Le troisième chapitre relate une série d'expériences faites en vue d'étudier l'influence de la température sur les propriétés résistantes du fer et de l'acier. Les résultats obtenus par l'auteur paraissent en oppposition avec les faits recueillis et les opinions reçues sur l'effet de la température.

Les essais de traction faits à la température ordinaire de 15°, à la température de —30°, obtenue avec une machine Carré, et à des températures de 100 à 200°, tendent à prouver :

Qu'une température de 100 à 200° ne change pas sensiblement la résistance de l'acier, mais augmente celle du fer doux ;

Que la ductilité du fer et de l'acier ne diminue pas par le froid, mais qu'au contraire celle de l'acier diminue, et celle du fer davantage encore, par la chaleur.

Que le froid relève et que la chaleur abaisse la limite d'élasticité, pour le fer et pour l'acier;

Que le coefficient d'élasticité augmente aux basses températures et diminue aux températures élevées, mais d'une quantité faible.

L'auteur constate lui-même la contradiction apparente entre ces résultats et la fréquence plus grande en hiver qu'en été, des ruptures de rails, d'essieux et de bandages ; mais il met ces accidents sur le compte des chocs résultant d'une diminution d'élasticité des traverses et de la voie en hiver.

M. Sandberg a voulu éclaircir la question par des essais pratiques en essayant au mouton des barres de rails par les temps froids et pendant la chaleur. La somme des hauteurs de chutes croissantes produisant la rupture n'a été que de $3^m,30$ à $-12°,2$; tandis qu'à 30° elle s'élevait à $11^m,70$.

Comme le fait remarquer M. Sandberg, ces essais ont été faits sur des fers de qualité fort différente de ceux essayés par M. Styffe, et peut-être y a-t-il là une des causes de l'écart considérable entre les résultats.

Mais peut-être la contradiction entre ces résultats n'est-elle qu'apparente.

Les pièces métalliques se brisent bien plutôt sous l'influence des chocs que sous l'action des forces statiques.

Il pourrait bien être vrai que le froid, sans diminuer la résistance absolue du fer, ni son allongement avant rupture, réduisît sa solidité sous le choc.

Cela ne serait pas possible si la capacité de résistance au choc a réellement pour mesure la puissance vive de résistance ou la surface de la courbe dont les abscisses représentent les allongements, et les ordonnées les charges statiques, mais cela serait admissible si cette théorie n'est pas exacte. Il serait donc intéressant d'instituer des expériences décisives à ce sujet, et de découvrir les relations que présentent réellement la résistance aux chocs et la résistance aux efforts lents.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Brüll de son intéressant exposé.

M. TRESCA appuie l'excellent rapport de M. Brüll, et fait remarquer que des recherches parallèles ont été faites en France par les ingénieurs et par les maîtres de forge.

M. le Président pense qu'une communication spéciale pourra se produire sur un sujet si intéressant.

M. Nordling qui a fait poser au Cantal 2100 tonnes de rails en acier, essayés au choc avec réfrigérants, a vu de ces rails cassés lors du déchargement.

L'effet du froid est donc incontestable.

M. le Président constate que des ingénieurs russes lui ont rapporté que les ruptures étaient constamment plus nombreuses pendant les temps froids.

M. Wuillemin dit que cela est à ce point que les bandages en fer sont impossibles à employer en Russie, que l'acier y est indispensable.

M. Dallot cite le journal *Engineering*, qui donne à l'état des appuis une influence considérable sur les effets qu'on vient de citer.

M. Galy-Cazalat donne ensuite communication de sa *note complémentaire sur l'affinage de la fonte par la vapeur surchauffée.*

Dans sa communication du 21 mai, M. Jordan ne compte que 2,473 calories pour chaque kilo de fonte brûlé, soit 11,510 pour $4^k,25$.

Rectifications. — Son erreur provient de la supposition que le carbone à 1400 degrés ne produit que de l'oxyde et nullement de l'acide carbonique.

Or, l'expérience démontre que dans la combustion du carbone, à très-hautes températures, il se produit au moins 0,70 d'acide carbonique, contre 0,30 d'oxyde.

On sait que M. Gilard a, pendant longtemps, extrait de l'eau des quantités considérables d'hydrogène en faisant passer des courants de vapeur à travers une masse incandescente de charbon emprisonné dans une cornue cylindrique. Les gaz ainsi obtenus contenaient d'abord entre 20 et 30 pour 100 d'oxyde de carbone; mais après quelques heures la proportion de l'oxyde s'élevait jusqu'à 40 pour 100, parce que les orifices du fer par lesquels la vapeur s'écoulait avaient considérablement augmenté de diamètre par l'action de l'oxygène.

Pour obvier à cet inconvénient, on imagina de visser dans le fer des bouts de tuyaux en porcelaine, dont les orifices *capillaires* ne pouvant plus s'agrandir, maintenaient l'oxyde au-dessous de 30 pour 100, à la condition qu'on ne laissât point refroidir la cornue, et par suite la masse du charbon.

En faisant le calcul d'après cette proportion, on trouve que chaque kilogramme de carbone brûlé par la vapeur décomposée produit

$$0,7\ (8,000) + 0,3\ (2,403) = 6,320 \text{ unités de chaleur,}$$

ce qui, pour $4^k,25$, donne 26,860 calories au lieu de 15,580, comme le dit le procès-verbal. Deuxièmement, M. Jordan suppose que chaque kilogramme de silicium brûlé par $1^k,066$ d'oxygène, développe 8,000 calories, de même que chaque kilogramme de carbone qui, pour être complétement brûlé, exige $2^k,66$ d'oxygène. De plus, il admet que 100 kilogrammes de fonte, *choisie* par les fabricants de l'acier Bessemer, contiennent 2 kilogrammes de silicium; il trouve ainsi que le silicium doit dégager la quantité de chaleur mesurée par 16,000 calories.

M. Galy-Cazalat fait observer que suivant l'opinion de M. Dulong, adoptée par tous les physiciens qui ont réfléchi sur les causes de production de la chaleur le calorique dégagé est proportionnel à la quantité d'oxygène qui s'est combinée avec le combustible *complétement* brûlé.

Ainsi, chaque kilogramme d'oxygène dégage, suivant M. Dulong, 4,327 calories, en se combinant soit avec du charbon pour produire de l'acide carbonique, soit avec le silicium qui devient acide silicique. Par exemple, 2^k,66 d'oxygène se combinant avec 1 kilo de carbone, produisent 3^k,66 d'acide, en développant

$$2,66\ (4,327) = 11,410 \text{ calories.}$$

Calorique absorbé par 3,66 d'acide = 3,66 (0,221) 1400, en s'échappant dans l'atmosphère après s'être chauffé de 1400 = 1132.

Le calorique absorbé par l'hydrogène correspondant est

$$0,45\ (3,4)\ (1400) = 2,142. \text{ — Total } 3,274,$$

qui, retranché du calorique libre, donne 11,510 — 3,274 = 8236. L'excédant égal à 236 étant retenu par l'acide et l'hydrogène échappés dans l'atmosphère, laisserait 8,000 calories pour le calorique dégagé.

Selon ce principe, un kilogramme de silicium, en se combinant avec (1,066) pour former 2,066 d'acide silicique doit développer (1,006) 4,327 = 4,612 calories.

De plus, comme la fonte de Suède, qui produit le meilleur acier, ne contient que cinq centièmes de silicium, d'après Berzélius, le calorique dégagé est seulement de 0,5 (4,612) = 2,306, et non point de 16,000 calories attribuées au silicium, suivant le procès-verbal.

M. Jordan a imaginé le pouvoir du silicium, pour expliquer l'échauffement de la fonte qui, dans les dix premières minutes de l'écoulement de la vapeur surchauffée, s'élève de 1200 degrés à la température du blanc éblouissant, ou à 1500 degrés. Mais cette dernière température se maintient pendant vingt ou trente minutes, selon la quantité de la fonte à décarburer complétement. Dès que le carbone, le silicium et le magnésium sont complétement brûlés, les oxydes de fer et de manganèse, ne pouvant plus leur céder l'oxygène de la vapeur, laissent passer, sans la décomposer, une grande quantité de vapeur qui refroidit progressivement le bain.

Enfin M. Jordan, tenant compte du fer, admet que le bain de fonte décompose 3^k,214 de vapeur, contenant 2^k,857 d'oxygène, et 0^k,357 d'hydrogène.

L'oxygène développe 2,857 × 4,327 = 12,362 calories. L'oxyde de fer absorbe 1520 calories; il ne reste donc disponible pour la combustion de 10 kilog. de fer que 10,840 calories.

De plus, 3^k,214 de vapeur *supposée sèche* et à 100 degrés absorberont, pour se décomposer 10,538 calories, et l'hydrogène en se dégageant après s'être chauffé de 1300 degrés, emportera 1578 calories.

La perte totale sera donc 12,116, le gain étant 10,840. On voit que le bain de fonte perdra finalement 1276 calories pour 10 kilogrammes de fer brûlé.

Telle est la conclusion écrite dans le procès-verbal.

Malgré sa vénération pour le génie scientifique de son ancien professeur, M. Dulong, M. Galy-Cazalat, au lieu de 4,327 unités de chaleur, trouvées pour la combinaison de 1 kilogramme d'oxygène avec le fer, adopte le chiffre de 5,000 calories qu'il a trouvé postérieurement au résultat égal à 5,325, obtenu par Despret. Selon cette donnée, 2^k,857 d'oxygène doivent développer 2,875 (5,000) = 14,375 calories. L'oxyde absorbe 1520 calories. Donc le calorique disponible doit être mesuré par 12,855, et non point par 10,840 calories.

En admettant, avec M. Jordan, que 3^k,214 de vapeur à 100 degrés absorbent pour se décomposer 10,538 calories, et que l'hydrogène dégagé après s'être surchauffé

1300 degrés, emporte 1578 unités, la perte totale due à la décomposition de la vapeur sera égale à 12,116 unités de chaleur. Le gain étant réellement de 14,375, trouvé plus haut, « le bain de 100 kilogrammes de fonte doit gagner

$$14{,}375 - 12{,}116 = 2{,}259 \text{ calories},$$

« qui le chaufferont; » tandis que la conclusion écrite au procès-verbal est « que « le bain perdra finalement 12,116 — 10,840 = 1276 calories qui refroidissent la « fonte. »

M. Galy-Cazalat fait observer que le réchauffement sera notablement plus grand, si on le calcule d'après les données suivantes :

1° Au lieu de supposer la vapeur à 100 degrés, température à laquelle la vapeur est *toujours humide* et par conséquent très-refroidissante, il faut la prendre telle qu'on l'emploie avant de la faire passer en minces filets à travers le bain de fonte.

Dans les fonderies impériales de Ruelle, la vapeur opérait son action calorifique à la tension de deux atmosphères, et elle était surchauffée à 340 degrés au moins, car elle fondait facilement une lame de plomb avant de passer à travers le bain métallique;

2° Le principe de Gay-Lussac, qu'on a appliqué mal à propos au passage de la vapeur humide à travers un bain de fonte n'a été indiqué, par ce grand physicien, que pour la décomposition de l'eau à 15 degrés. Cette décomposition produit une absorption de chaleur équivalente au calorique dégagé par la combustion complète de l'hydrogène produisant de l'eau à 15 degrés.

Or, il est évident que la séparation des deux éléments de l'eau doit exiger une force séparatrice beaucoup moins grande, quand on fait passer la vapeur surchauffée à travers un bain de fonte à 1400 degrés, car alors le calorique interposé entre les molécules possède l'accroissement de puissance que lui donne la température de 1400 degrés. De plus, à cette force qui tend à séparer les molécules d'hydrogène et d'oxygène, s'ajoute l'attraction extérieure ou la grande affinité du fer pour l'oxygène.

Un jour viendra où les chimistes-physiciens sauront mesurer les forces attractives des diverses molécules à diverses températures. Cette découverte leur permettra de calculer la température que doit avoir un bain de fonte pour que l'oxygène et l'hydrogène de la vapeur surchauffée s'y séparent sans aucun refroidissement résultant de leur séparation.

3° Au surplus, quel que soit le refroidissement dû à la séparation, il est en partie compensé par la combustion de ce même hydrogène qui s'élève à la surface du bain. Là, il est brûlé par l'oxygène de l'air non décomposé, entraîné par la flamme qui s'écoule entre le bain et la voûte du four à réverbère.

Après ces observations, M. Galy-Cazalat expose la théorie de l'affinage de la fonte par la vapeur surchauffée.

Supposons, dit M. Galy-Cazalat, qu'il s'agisse d'abord de décarburer complétement 100 kilogrammes de fonte, afin de la convertir en un alliage d'oxyde et de fer liquides, auxquels on ajoutera ensuite 10 ou 12 pour cent de fonte spathique spéculaire pour convertir cet alliage en acier fondu,

Prenons 100 kilogrammes de fonte suédoise, composée, suivant Berzélius, de :

Fer, $90^k,80$ — manganèse, $4^k,57$ — carbone, $3^k,933$.

Silicium, $0^k,50$ — magnésium, $0^k,20$.

Nous avons trouvé précédemment que :

$3^k,93$ de carbone développent	2,751 (8,000) + 1,179 (2403)	= 24,841 calories.
$0^k,50$ de silicium	0,50 (5,000).	= 2,500 —
$0^k,20$ de magnésium	0,20 (5,000).	= 1,000 —
100	Total. . . .	28,341 calories.

Calorique absorbé par :

1° $2^k,751$ de carbone, combinés avec $7^k,32$ d'oxygène pour former 10,07 d'acide carbonique absorbent 10,07 (0,221) (1,300) [1] = 2,893 calories;

2° $1^k,179$ combinés avec $1^k,568$ d'oxygène produisent $2^k,747$ d'oxyde de carbone, qui absorbent 2,747 (0,288) 1300 = 1028 calories;

3° $0^k,50$ de silicium combinés avec $0^k,533$, produisent $1^k,033$ d'acide silicique absorbant 1,033 (0,191) 1300 = 256 calories;

4° $0^k,2$ de magnésium produisent $0^k,333$ de magnésie, qui absorbent

$$0,333\ (0,244)\ 1300 = 105 \text{ calories.}$$

Total absorbé = 4,282 calories.

Le gain étant 28,341 et la perte égale à 4,282, la chaleur est égale à 24,059 unités.

Pour obtenir cette quantité de chaleur par la combustion du fer *seul*, il faut employer $\frac{24,059}{5,000} = 4^k,812$ d'oxygène, provenant de $5^k,41$ de vapeur contenant $0^k,6$ d'hydrogène.

Or, suivant M. Silberman, en brûlant dans un calorimètre $0^k,6$ d'hydrogène, au moyen de $4^k,812$ d'oxygène, on obtient 20,677 calories, et $5^k,41$ d'eau.

Si l'on décomposait, par des courants électriques, ces $5^k,41$ d'eau à 15 degrés, on trouverait un refroidissement équivalent à 20,677 calories, suivant l'observation toute naturelle de M. Gay-Lussac. De plus, les $0^k,6$ d'hydrogène correspondant à la vapeur décomposée en traversant le bain de fonte, refroidiraient le bain de

$$0,6\ (3,40)\ 1300 = 2,652,$$

qu'il emporte dans l'atmosphère; la perte totale sera donc de 23,329 calories.

Le gain étant, comme plus haut, 24,059, il resterait disponible 730 unités de chaleur.

Mais ce n'est point de l'eau à 15 degrés, ni de la vapeur saturée d'eau qu'il faut faire passer à travers le bain de fonte, comme l'ont fait les autorités citées dans le procès-verbal. Dans les expériences de Ruelle, nous faisions passer huit jets de vapeur à 120 degrés, ou à deux atmosphères environ, et qui s'était surchauffée à 337 degrés, puisque avant de traverser le bain un jet de cette vapeur perçait, en la fondant une règle de plomb.

Or, suivant les belles et très-utiles expériences de M. Regnault, la vapeur à 120 degrés possède 522 unités de calorique latent, auquel il faut ajouter 334 degrés de surchauffe. Le calorique total apporté dans le bain par chaque kilogramme de vapeur surchauffée sera donc égal à 856 calories, soit $5^k,41 \times 856 = 4,631$.

Par conséquent le réchauffement doit être de 730 + 4,631 = 5,631 calories.

joutons q u'il faut encore tenir compte de la chaleur inconnue dégagée par la per-

1. Température moyenne entre 1,200 et 1,400 degrés.

tion d'hydrogène qui se brûle à la surface du bain. Ce qui concourt à élever la température au blanc éblouissant, ou à 1500 degrés, observée avec étonnement par les spectateurs nombreux des expériences faites dans les fonderies impériales de Ruelle.

En résumé, le procédé de conversion de la fonte en acier fondu *épuré*, breveté en 1855 et 1858, consistant à faire passer d'abord des courants d'air chaud comprimé, puis des courants de vapeur surchauffée, à travers un bain de fonte est préférable au système anglais breveté en 1861, et exploité depuis 1862 :

Premièrement. La vapeur engendrée par la flamme perdue et surchauffée dans le cubilot de 1855, ainsi que dans le four à réverbère perfectionné de 1858, permet des appareils quinze fois moins coûteux, et dépensant moins de combustible que le système d'aciération par l'air comprimé que Bessemer fit breveter, et qu'on exploite depuis 1862.

Secondement. L'hydrogène provenant de la décomposition de la vapeur surchauffée enlève au bain de fonte le soufre qui rendrait l'acier cassant.

Des milliers d'expériences faites tous les jours dans les usines à gaz de Paris, mettent en évidence cette propriété de l'hydrogène qu'on avait niée.

M. Galy-Cazalat annonce à la Société qu'il va faire construire *un four à combustion continue*, capable de mettre en fusion non-seulement les riches minerais des Pyrénées et de l'Algérie, mais encore le *peroxyde de fer titano-magnétique.*

Ce peroxyde, pur ou mélangé, permettra de fabriquer dans les nouveaux fours à réverbère les aciers et les fers les meilleurs et les moins coûteux.

M. Jordan a regretté de voir la discussion revenir, dans la séance du 4 juin, sur le terrain des brevets et sortir de ce qu'il croit être le programme de la Société. Mais, puisqu'il en a été ainsi, il croit nécessaire, dans l'intérêt de l'exactitude, de ne pas laisser sans réponse les assertions qui ont été produites, malgré l'embarras qu'il éprouve et qu'on comprendra bientôt. Il espère que la Société l'excusera en se rappelant qu'il est tout à fait désintéressé dans la question, et qu'il désire seulement montrer à qui appartient réellement l'idée si féconde du chauffage intermoléculaire. Pour n'apporter ici que des faits parfaitement vérifiés et ne pas s'en tenir à ses seuls souvenirs, M. Jordan vient de lire attentivement, dans leurs originaux, tous les brevets de M. Galy-Cazalat et tous ceux de M. Bessemer ; il connaît, du reste, depuis 1856, pour en avoir suivi les essais pendant plusieurs semaines à l'usine à gaz de Marseille, le procédé de M. Galy pour la fabrication du gaz hydrogène, et il a suivi aussi depuis 1856 les progrès du procédé Bessemer dans les usines, tant en Angleterre qu'en France.

Le brevet du 13 juin 1855, cité dans la séance du 4 juin, est relatif à la fabrication du gaz hydrogène pour l'éclairage par divers procédés, entre autres par l'injection *d'un courant de vapeur d'eau pure ou carburée* dans un bain de fonte. Il n'est nullement question d'*air* dans ce brevet, pas plus que dans ses deux certificats d'addition ; l'inventeur ne s'y préoccupe en aucune façon du chauffage intermoléculaire.

Dans le brevet du 15 juillet 1858 seulement, l'inventeur propose de faire arriver toutes les molécules d'une masse de fonte liquide au contact d'un courant de vapeur d'eau, mêlée d'hydrogène, d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, chauffée à 600° ou 900°, — ou bien d'un courant *de vapeur d'eau fortement surchauffée, pure ou mélan-*

gée d'air, suivant les procédés pour lesquels (dit la description) *M. Galy-Cazalat a, le premier, pris des brevets.* Ce brevet n'est pas accompagné de dessins; on n'y dit rien ni de l'échauffement, ni du refroidissement du bain; on y lit seulement que l'opération est tellement facile que quelques expériences suffisent à l'ouvrier pour obtenir ce qu'il veut (fonte malléable, acier ou fer). Les certificats d'addition donnent des dessins d'appareils plus ou moins compliqués, et il n'y est pas question non plus de chauffage intermoléculaire.

La première patente de M. Bessemer, qui se rapporte à son procédé connu, est datée du 17 octobre 1855; l'inventeur annonce qu'il introduit dans le bain de fonte *de l'air surchauffé seul, un mélange d'air ou de vapeur, ou de la vapeur surchauffé seule;* mais il ne dit rien du chauffage intermoléculaire. Ce n'est que dans la patente du 12 février 1856, patente qui fait époque dans l'industrie sidérurgique, qu'on voit paraître la prétention d'échauffer le bain par la simple injection de l'air, sans intervention d'un combustible extérieur. La prise de cette patente a été bientôt suivie de la lecture du fameux mémoire intitulé : *De la fabrication de l'acier sans combustible,* à l'Association britannique, et des expériences de Baxterhouse que tous les ingénieurs qui l'ont désiré ont pu voir en 1856. M. Bessemer affinait 350 kil. de fonte à la fois dans un petit cubilot convertisseur soufflé par sept tuyères et semblable aux appareils Bessemer employés encore actuellement en Suède. Depuis cette époque, les perfectionnements se sont succédé sans interruption.

M. Jordan ne comprend pas comment il est possible de dire à la Société des Ingénieurs civils que le procédé Bessemer actuel ne date que de 1862, lorsqu'en 186[illegible] M. Chobrzynski a lu en séance le mémoire présenté en 1859 par M. Bessemer aux Ingénieurs civils de Londres, mémoire qui contient la plupart des points importants et qui a été suivi chez nous d'une discussion très-intéressante.

Il est donc parfaitement démontré, pour tout esprit impartial, que le jury de l'Exposition de 1867 n'a fait tort à aucun inventeur français en décernant un grand prix à M. Bessemer. S'il en eût été autrement, on peut s'en rapporter aux intérêts considérables qui étaient en jeu, M. Bessemer n'eût pas touché les primes que lui ont payées les fabricants français, qui tous connaissent les réclamations qui sont venues, en dernier ressort, se reproduire dans notre Société.

M. Jordan, en ce qui concerne la question technique, maintient tout ce que renferme la note remise par lui, il y a six semaines, à la Société.

Il voit que M. Galy-Cazalat conteste ce qu'il a dit du rôle du manganèse dans la fabrication de l'acier Bessemer. Il répétera seulement que son opinion ne lui est pas personnelle, mais qu'elle est aussi celle des directeurs d'aciéries. M. Galy est du reste dans l'erreur au sujet des fontes employées par les aciéries de Sheffield; il a été mal renseigné. M. Jordan a séjourné à Sheffield, et il y a constaté que la majeure partie des fontes employées pour l'appareil Bessemer sont des fontes d'hématite anglaises (Cleator et autres); le fait est bien connu de tous les métallurgistes. On n'emploie que pour des usages spéciaux les fontes suédoises; et celles-ci, grises, n'ont pas la composition donnée par une vieille analyse de Berzélius, qui circule dans les livres depuis 40 ans, et qui se rapporte à une fonte blanche exceptionnelle. M. Jordan a rapporté à l'époque de Sheffield des échantillons qu'il a analysés et qui étaient en tout conformes aux spécimens de fontes Bessemer suédoises figurant à l'Exposition. Celles-ci renferment seulement 1 à 2 1/2 p. 100 de manganèse et environ 1 p. 100 de silicium. Il faut ne pas oublier qu'en Suède on fait arriver dans

l'appareil Bessemer la fonte liquide sortant du haut-fourneau, et qu'elle ne perd pas de silicium dans une deuxième fusion.

M. Galy-Cazalat admet que la décarburation de la fonte produit 30 p. 100 d'oxyde de carbone seulement et 70 p. 100 d'acide carbonique. Cette hypothèse nouvelle est toute gratuite et contraire à l'expérience. L'interprétation donnée à une circonstance plus ou moins bien constatée de la fabrication du gaz à l'eau Gillard, est sans portée dans la question : la combustion du carbone dans ce cas n'a pas lieu en présence d'une masse surabondante de fer, ni à une température comparable à celle de l'affinage.

M. JORDAN ne croit point qu'il soit exact de prendre, pour le nombre de calories dégagées par la combustion du fer dans l'oxygène, une moyenne entre le chiffre de Dulong et celui de Despretz. Il s'en tient aux expériences de Dulong, faites avec des instruments décrits dans les cours de physique et plus précis que ceux décrits dans la séance du 4 juin. Il comprend qu'on préfère prendre le chiffre de Despretz parce qu'il est plus fort ; mais alors il serait encore plus commode de prendre le chiffre de Despretz pour la puissance calorifique de l'hydrogène qui n'est que 20,624 calories, tandis que, d'après Dulong, Favre et Silbermann, elle est 34,500 calories environ.

Quant à la puissance calorifique du silicium, M. Jordan a fait ses réserves ; il a admis le même chiffre que pour le carbone, en donnant ses raisons, et il ne s'attendait pas à voir M. Galy le trouver trop élevé, puisqu'en admettant un chiffre inférieur, la combustion du silicium par la vapeur donnera un abaissement de température.

M. Galy-Cazalat a dit que, *suivant l'opinion de Dulong adoptée par tous les physiciens qui ont réfléchi sur les causes de production de la chaleur, le calorique dégagé est proportionnel à la quantité d'oxygène qui s'est combinée avec le combustible complétement brûlé.* M. Jordan n'est pas physicien ; mais il a appris de son ancien maître, Péclet, que la loi ci-dessus, établie il y a plus de quarante ans à la suite des expériences incomplètes de Despretz et servant de base à la méthode de Berthier pour l'essai des combustibles, n'est pas exacte, et que son inexactitude a été prouvée précisément par les travaux de Dulong (voir Péclet, *Traité de la chaleur*, tome I, page 7). — M. Jordan s'appuie aussi de l'opinion de MM. Pouillet, Desains et Jamin, et il ne croit pas qu'aucune autorité en physique admette maintenant la loi en question.

M. Galy-Cazalat a accusé M. Jordan d'avoir imaginé pour les besoins de la cause le rôle du silicium. M. Jordan regrette que cette accusation ait pris place dans la discussion. Elle montre cependant que son auteur est peu au courant de l'industrie des fontes et des aciers ailleurs que dans les brevets. Les fontes à Bessemer se vendent sur teneur en silicium garantie. M. Jordan le sait pour en avoir fait fabriquer et vendre, et les hauts-fourneaux de Givors, Saint-Louis, Bességes, Terrenoire ne procèdent pas autrement. L'importance du silicium, indiquée en 1864 par M. Jordan, a été longtemps tenue secrète par les fabricants ; M. Frémy a dévoilé complétement le secret dans son intéressant rapport officiel sur l'Exposition de 1867.

M. Galy-Cazalat a contesté que la décomposition de la vapeur d'eau absorbe autant de calories que la combinaison des éléments (hydrogène et oxygène) en a dégagé. M. Jordan, qui n'a fait que suivre l'exemple donné par MM. Sainte-Claire Deville et Debray dans leurs calculs des hautes températures, ne croit pas devoir rien répondre.

Il ne reprendra pas les calculs qu'il a déjà exposés à la Société, et il laisse aux

lecteurs du procès-verbal le soin de s'expliquer ceux de son contradicteur qu'il n'a pu comprendre pour son compte. Il s'étonne seulement de voir dire que 1 kil. de vapeur surchauffée à 340° (et non plus à 600°) contient 856 calories (en admettant ainsi que la capacité calorifique de la vapeur est 1,00), et laisse dans le bain toute la chaleur qu'elle renferme, y compris sa chaleur latente.

Quant à l'action de l'hydrogène sur le soufre de la fonte, M. Jordan renvoie à sa note. Il ne saisit pas l'argument tiré des usines à gaz de Paris. Il a dirigé longtemps une grande usine à gaz, et il y a justement trouvé un fait à l'appui de son opinion. Le coke des cornues, quand le charbon distillé est pyriteux, renferme toujours beaucoup de soufre, bien qu'il ait été soumis à un dégagement prolongé d'hydrogène dans la cornue, et à une aspersion d'eau quand il en sort; donc ni l'hydrogène, ni la vapeur d'eau ne suffisent pour le désulfurer complétement.

M. Jordan doit aussi répondre quelques mots à M. Brüll. Il admet en effet que dans l'affinage pneumatique il se produit seulement du protoxyde de fer, parce que l'analyse a démontré que les scories du Bessemer étaient des silicates acides de protoxyde de fer, ne renfermant point de peroxyde, ce que leur aspect seul fait du reste voir; mais il a pris comme quantité de chaleur développée celle de la combustion complète du fer dans l'oxygène qui produit des battitures, tout en faisant remarquer que cette hypothèse donne un gain de calories supérieur à la réalité. Quant à la puissance calorifique du fer, M. Jordan a déjà dit pourquoi il se fie plus au chiffre de Dulong qu'à ceux de Despretz et de M. Galy-Cazalat.

M. Jordan, avant de prendre aucune part à cette discussion, a fait les calculs dans le sens qu'indique M. Brüll, en tenant compte du surchauffage de la vapeur, et en admettant que les produits gazeux s'échappent à une température de 500 à 600° seulement. Il a toujours trouvé pour le bain une perte de chaleur de 50,000 à 60,000 calories, quand il a pris une composition véritable de fonte d'affinage. Il regrette que M. Brüll n'ait pas développé le calcul avec les modifications dont il parle; car il sait d'avance que son désaccord avec M. Brüll eût cessé.

Quant aux résultats pratiques, M. Jordan a dit déjà que les expériences prolongées de MM. Guest, Truran et Nasmyth sont parfaitement d'accord avec la théorie. L'insuccès, qui depuis longues années accompagne les tentatives de M. Galy, aidé cependant par l'État, dans l'usine impériale de Ruelle, est complétement expliqué; et l'opinion des fabricants d'aciers sur l'affinage à la vapeur, basée sur divers essais particuliers, est aussi justifiée. Tous eussent désiré pouvoir échapper à M. Bessemer, et, malgré l'énergique stimulant de l'intérêt, ils n'ont pu y arriver. La pratique a prononcé, et elle est d'accord avec la théorie, comme elle l'est toujours, quand la théorie est bien fondée.

Pour terminer, M. Jordan déclare qu'au point où en est la discussion, il s'abstiendra de toute réplique ultérieure. Ce n'est point pour convaincre un inventeur qu'il a pris la parole, mais seulement pour ne pas laisser des inexactitudes sans réponse dans nos procès-verbaux. Mais il ne veut plus continuer ce rôle ingrat qui consiste à défendre contre une opinion intéressée, qui s'annonce comme la seule science positive et sérieuse, l'exactitude d'un fait métallurgique aussi bien établi par la théorie et l'expérience que l'impraticabilité de l'obtention d'acier fondu liquide par l'affinage à la vapeur surchauffée ou non, sans chauffage extérieur.

MM. Boulet, Cassas, Cournerie, Danjou, Jonte, Gallais, Kohn, Laming et Wolmeringer ont été reçus membres sociétaires, et MM. Durand, Gérard, Léon et Moïse membres associés.

Séance du 6 Août 1869.

Présidence de M. VUILLEMIN, *Vice-Président.*

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Jordan a adressé à la Société un exemplaire de sa *Revue de l'Exposition de* 1867 : mines, métallurgie, chimie, mécanique, etc., etc. M. le Président prie M. Flachat de vouloir bien rendre compte de cet intéressant travail.

En l'absence de M. Fellot, qui ne peut assister à la séance, M. Brüll prend la parole pour analyser le mémoire de M. Le Chatelier, sur la marche à contre-vapeur.

M. BRÜLL rappelle en commençant que la Société s'est occupée à diverses reprises de cette importante question.

Le 6 avril 1866, il est donné lecture d'une notre de M. Flachat, sur les essais entrepris sur le chemin de fer du Nord de l'Espagne, d'après les instructions de M. Le Chatelier, ingénieur en chef délégué de la Compagnie, pour régulariser et rendre pratique, d'une manière continue, l'emploi de la contre-vapeur à la descente des rampes.

Cette communication renferme la description de la disposition adoptée et des expériences faites sur le chemin d'Avila à Madrid.

M. BRÜLL cite la phrase suivante, extraite du procès-verbal de cette séance, et qui précise l'état de la question à la date citée :

« Malgré la substitution de la vapeur à l'air, il y a une production considérable de chaleur, correspondant, sauf les pertes par le refroidissement extérieur, au travail mécanique de la gravité. On combat l'élévation de la température dans les cylindres en y injectant de la vapeur humide, et, mieux encore, en lançant dans le tuyau abducteur de la vapeur un petit filet d'eau, que le mécanicien règle avec un robinet. »

M. BRÜLL ajoute que les 12 et 16 avril, et le 25 octobre 1867, diverses communications ont été présentées sur le frein de Bergues et le frein Le Chatelier, par MM. Morandière, de Fonbonne et Guébhard.

M. BRÜLL fait ensuite remarquer que la disposition proposée par M. Le Chatelier a été adoptée rapidement par toutes les Compagnies, et que maintenant près de 2,500 locomotives sont munies de cet appareil.

Il rappelle que les accidents nombreux produits par la marche ordinaire renversée empêchaient les mécaniciens d'en faire usage, autrement que dans le cas d'un danger imminent.

Les gaz chauds de la cheminée étaient aspirés, entraient avec des cendres dans l'intérieur des cylindres, puis étaient refoulés dans la chaudière; leur passage et leur compression dans les cylindres portaient ceux-ci à une température élevée; la tige du piston bleuissait sous l'action de cette température, les presse-étoupes brûlaient. De plus, le refoulement des gaz dans la chaudière amenait un excès de pression qui fatiguait les rivures et les joints, l'alimentation par les injecteurs devenait impossible, par suite de la présence de gaz fixes mélangés à la vapeur.

Enfin, par suite des hautes températures développées, les tiroirs grippaient sur leurs glaces, la manœuvre du levier de changement de marche devenait extrêmement difficile et même dangereuse, par suite de son retour brusque en arrière, lorsque les secousses devenaient assez grandes pour déterminer le déclanchement du verrou d'arrêt.

M. Brüll fait remarquer que l'emploi de la marche renversée a été rendu possible dès qu'on a pu éviter, par l'injection d'une certaine quantité de vapeur, l'entrée dans les cylindres des gaz chauds de la cheminée.

Il rappelle que la vapeur étant à une basse température, par rapport à ceux-ci, l'élévation de la température était moindre, mais que l'appareil n'est devenu réellement pratique que lorsque l'on a introduit avec la vapeur une certaine quantité d'eau qui aidait, par sa vaporisation, au refroidissement des cylindres.

M. Brüll ajoute que la disposition actuelle consiste même à supprimer l'introduction de la vapeur et à introduire à la base du tuyau d'échappement un petit filet d'eau pris dans la chaudière.

Cette eau en se vaporisant empêche les gaz chauds d'arriver jusqu'aux cylindres qui se remplissent d'un mélange de vapeur déjà dégagée et d'un excès d'eau qui se vaporise dans les cylindres mêmes, pendant toute la période de compression.

M. Brüll trace au tableau les deux diagrammes que l'on obtient pour un même cran de la distribution, dans la marche directe et dans la marche inverse.

Il montre que dans la marche à contre-vapeur le travail résistant peut atteindre les 55 à 60 pour 100 du travail développé dans la marche ordinaire.

Des diagrammes nombreux, obtenus à l'aide de l'indicateur de pression, sont réunis dans le mémoire de M. Le Chatelier; certains d'entre eux ont une surface très-petite et même nulle; ce qui indique que dans ces conditions le travail de frottement des organes de la machine, que M. Le Chatelier évalue à 15 pour 100, résiste seul au travail de la gravité, lorsqu'on descend une rampe, augmenté de la puissance vive du train.

M. Brüll indique, d'après M. Le Chatelier, le calcul des quantités de chaleur développées dans les cylindres dans le cas d'un train descendant un plan incliné sous l'action de la vapeur renversée.

« Je prendrai comme exemple un train de marchandises de 145 tonnes, qu'une machine locomotive à six roues accouplées, pesant 55 tonnes (y compris le tender à moitié vide), gouvernerait facilement à la descente d'un plan incliné, dont la pente serait de 25 millimètres par mètre; je suppose que sa vitesse soit de 25 kilomètres à l'heure.

« L'action de la gravité qui sollicite le train, et qui donnerait à la vitesse une accélération dangereuse, si elle n'était détruite à chaque instant, représente, parallèlement à la voie, un effort de 25 kil. par chaque tonne du poids du train, soit en totalité un effort de traction de 5,000 kilogrammes. Sans recourir aux formules qui ont été proposées pour évaluer la résistance propre du train en marche, je supposerai que cette résistance s'élève, en totalité, y compris les frottements extérieurs de la machine par suite du jeu de la vapeur, à 6 kilogrammes par tonne du poids brut de ce train, composé d'un petit nombre de wagons, soit à 1200 kilogrammes.

« L'effort utile qui sollicite le train parallèlement au plan incliné est donc

$$5{,}000 - 1200 = 3{,}800 \text{ kil.}$$

« La vitesse étant de 25,000 mètres par heure, l'espace parcouru en une minute sera égale à $416^{m},67$.

« Le travail utile ou net de la gravité, qui reste à détruire par la production d'une certaine quantité de chaleur, évalué pour une minute de temps, sera donc égal à

$$3{,}800 \text{ kil.} \times 416^{m},67 = 1{,}583{,}336 \text{ kilogrammètres.}$$

« La quantité de chaleur équivalente à cette quantité de travail est égale à

$$\frac{1{,}583{,}336}{424} = 3{,}734 \text{ calories.}$$

« Le parcours du train s'accomplirait à la vitesse uniforme de 25 kilomètres à l'heure, sur la pente de 25 millimètres par mètre, si, la marche étant renversée et les cylindres accomplissant la fonction de pompe de compression et de refoulement des gaz et de la vapeur, et par suite celle d'un caléfacteur, il était possible, sans détériorer la machine, de marcher assez longtemps dans cet état, et avec un degré d'admission tel que la quantité de chaleur produite fût égale, pendant une minute, à 3,734 calories.

« Pour y arriver, il suffit de faire absorber cette chaleur sous forme latente, par l'injection dans l'intérieur même des cylindres d'une quantité égale, au maximum, à 7 ou 8 kilogrammes par minute. »

M. Brüll fait remarquer que dans ce calcul on n'a pas tenu compte de la déperdition de chaleur par le rayonnement des cylindres, et que c'est pour cette raison que M. Le Chatelier considère l'injection de 7 à 8 kilogrammes d'eau seule dans la chaudière, par minute, comme un maximum dans les conditions citées.

M. Brüll passe ensuite en revue les avantages qui résultent d'un emploi normal de la contre-vapeur.

Le principal est sans contredit celui de mettre les moyens d'arrêt entre les mains du mécanicien qui n'avait, avant l'application de la contre-vapeur, qu'à transmettre les signaux, souvent mal compris par des agents d'ordre inférieur, exécutant machinalement, sans initiative ni responsabilité sérieuse, les ordres transmis par le sifflet de la machine. Par son emploi on évite l'enrayage des roues, l'échauffement des bandages, leur usure, et par suite la grande usure des rails lorsque les roues glissent sur des parcours considérables.

Cette chaleur dégagée par le frottement se transmet par les rayons des roues aux moyeux et aux boîtes à graisse qui se vident.

Lorsque l'injection d'eau est suffisante, on peut descendre des plans inclinés de grande longueur avec une vitesse régulière et sans craindre des détériorations rapides de machines.

M. Brüll ajoute que sous ce rapport l'expérience a démontré que sur le chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée l'emploi fréquent de la contre-vapeur n'augmente pas, dans leur ensemble, les frais de réparation et d'entretien des machines.

En résumé, et d'après M. Le Chatelier, on ne doit plus considérer les freins ordinaires que comme des appareils pouvant fournir accidentellement un supplément de résistance.

« On doit tout au moins, comme on le fait sur quelques lignes, employer la contre-vapeur concurremment avec les freins, pour les manœuvres du service courant; cette combinaison permet d'arrêter avec précision et sans hésitation aux points fixés pour le stationnement.

« Sur les chemins à une voie, où il y a intérêt très-grand pour la sécurité à ne pas dépasser la station, son usage est désormais indispensable.

« L'emploi simultané de la vis et de la contre-vapeur apporte enfin une grande simplification dans les manœuvres de gares. »

M. Brüll cite ensuite différents passages du mémoire de M. Le Chatelier, relatifs aux expériences faites en employant de la vapeur seule, un mélange de vapeur et d'eau, et enfin de l'eau seule.

M. Le Chatelier donne les détails d'un essai fait sur le chemin de fer du Nord, en employant la vapeur seule.

Dans cette expérience, faite de Chantilly à Saint-Denis, la pente n'était que de 5 millimètres, la longueur totale était de 13,700 mètres, d'où il faut déduire deux paliers d'une longueur totale de 1,500 mètres, et divisant le parcours en trois parties.

Dans ces conditions un train de marchandises d'un poids brut de 650 tonnes (machine comprise) a pu circuler sur cette pente, à une vitesse régulière de 25 kilomètres à l'heure, et bien que quelques difficultés se soient présentées dans la manœuvre de la vis et pour l'alimentation, la machine n'avait pas souffert.

M. Le Chatelier cite cette expérience comme étant la limite de ce qu'on peut raisonnablement faire sans injection d'eau.

Une expérience analogue faite sur la rampe d'Étampes a montré que l'échauffement produit devient dangereux après un parcours de quatre kilomètres, et lorsqu'on emploie de la vapeur seule, mais que dans ces mêmes conditions l'addition de l'eau a permis de descendre la rampe dans de bonnes conditions avec une injection d'eau variant de 18 à 19 kilogrammes d'eau, et 9 à 10 kilogrammes de vapeur par minute. Un tableau joint à la description de cette expérience donne les conditions de pression et d'admission ainsi que la quantité de vapeur injectée pendant l'expérience.

Enfin, une expérience faite sur la rampe d'Étampes, le 5 janvier 1869, avec un train de 640 tonnes et avec injection d'eau seule dans le tuyau d'échappement, a montré que le fonctionnement était des plus satisfaisant.

Pendant tout le temps de l'expérience, la cheminée a versé de la vapeur dans l'atmosphère, avec une pluie très-légère; les trois soupapes de la machine, qui avaient été desserrées à l'avance d'un kilogramme, ont abondamment soufflé; les manomètres n'ont manifesté aucune vibration de leurs aiguilles, ce qui eût été l'indication d'une rentrée d'air. Enfin l'alimentateur Giffard, amorcé à plusieurs reprises, a fonctionné sans hésitation.

Comme dans l'expérience précédente, M. Le Chatelier a réuni dans un tableau les données principales de l'expérience.

De ce tableau on peut déduire que la pression est restée constante et égale à 7k.1 par kilomètre carré.

La vitesse a varié de 28 kilom. à 30 kilom. à l'heure; l'admission a varié de 45 à 58 pour 100 de la course; la quantité d'eau a varié de 18 à 19 kil. par minute.

M. Brüll ajoute que ces expériences démontrent que la contre-vapeur doit être appliquée d'une manière générale, et que l'emploi de l'eau seule recommandé par par M. Le Chatelier présente sur les autres dispositions des avantages tellement notables, que depuis l'expérience d'Étampes on a supprimé l'injection de vapeur sur tout le réseau du chemin d'Orléans, pour ne faire le service de toutes les sections à fortes pentes qu'avec de l'eau seule.

M. Brüll fait encore remarquer que bien que les premiers essais aient été faits sur le chemin du Nord de l'Espagne, l'application des appareils à contre-vapeur

s'est répandue plus rapidement sur les chemins français. C'est probablement à cause d'instructions mal suivies qu'il a fallu un temps aussi long pour obtenir le succès dans l'application de ces appareils sur les chemins espagnols, dans le parcours desquels on a à franchir des pentes de forte inclinaison et de grande longueur.

M. Brüll rappelle encore que M. Combes a fait de savants calculs pour expliquer l'action de la marche à contre-vapeur, à l'aide de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Il fait remarquer que ces calculs peuvent difficilement conduire à des considérations vraiment utiles en ce que, d'une part, on est obligé d'envoyer un excès d'eau et de vapeur pour obtenir toujours un échappement de vapeur par la cheminée afin d'empêcher l'introduction des gaz dans les cylindres; et d'autre part, en ne faisant pas intervenir les refroidissements extérieurs.

M. Brüll termine sa communication en citant une conclusion tirée des mémoires de M. Le Chatelier : « D'après des calculs approximatifs on peut conclure que, sur une rampe de 35 à 36 millimètres, on pourrait faire le service dans les deux sens, sans recourir aux freins, avec une machine à 8 roues accouplées, marchant à 15 ou 16 kilomètres à l'heure et remorquant six wagons de marchandises à pleine charge ou dix à onze voitures de voyageurs. »

M. le Président remercie M. Brüll de l'analyse très-claire et très-fidèle qu'il a bien voulu faire du mémoire de M. Le Chatelier.

Il rappelle que cette question a suivi quatre phases distinctes :

La marche ordinaire à contre-vapeur avec simple renversement des tiroirs;

L'injection de la vapeur seule dans les tuyaux d'échappement;

L'emploi d'un mélange de vapeur et d'eau;

Enfin l'injection d'eau seule provenant de la chaudière.

M. le Président croit être l'interprète des sentiments de la Société en adressant des remercîments à M. Le Chatelier, pour la solution simple et efficace qu'il a donnée de l'emploi de la contre-vapeur, solution qui permet de mettre dans les mains du mécanicien un frein puissant qu'il peut faire agir de lui-même.

M. Flachat fait remarquer que l'emploi des appareils à contre-vapeur s'est répandu rapidement, qu'ils servent maintenant aussi bien en plaine, pour produire le ralentissement avant l'arrêt des trains, que pour modérer la vitesse dans les pentes.

Il cite un mémoire de M. Gottschalk, dans lequel il est indiqué que la contre-vapeur est appliquée en service courant pour la descente du Semmering et du Brenner.

Il ajoute qu'en Espagne, pour la descente des Pyrénées et du Guadarrama, la contre-vapeur qui a d'abord et longtemps échoué par suite de l'interprétation mal entendue des instructions de M. Le Chatelier, rend de très-grands services, et que sur ces lignes l'injection de l'eau seule est maintenant appliquée.

M. Flachat termine en faisant remarquer que les explications théoriques que l'on a voulu donner des phénomènes ne rendent encore qu'incomplétement compte des faits.

M. le Président, répondant à une question adressée par M. Flachat, dit que les appareils du type des chemins de Lyon peuvent servir par l'injection de l'eau seule, et qu'il est probable que ces appareils seront conservés sur les machines qui en sont munies et aussi par la plupart des compagnies pour les machines qui n'en sont pas pourvues. Il ajoute qu'il est toujours facile de condamner l'un des orifices en se réservant la faculté de s'en servir pour quelques cas particuliers.

M. JORDAN cite, d'après le Bulletin de la Société de *l'Industrie minérale* de Saint-Étienne, une application de la contre-vapeur à la descente rapide des remblais dans les mines.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. Nordling, sur les chemins de fer d'intérêt local :

« Mon cher Président,

« Les exigences de mon service ne me permettent pas d'assister à la séance de demain et m'obligent à réduire aux proportions d'une simple lettre la communication que je devais faire.

« Voici d'abord diverses données se rattachant à notre discussion de l'année dernière :

« Je ne m'étais pas trompé alors en prédisant que les immunités stipulées dans certains cahiers des charges au sujet du transport des militaires, de la poste, etc., ne résisteraient pas à l'action du temps. Dès le 26 juillet 1868, trois mois seulement après notre discussion, ces immunités étaient rachetées pour la ligne de Vitré à Fougères à l'occasion de son prolongement, moyennant une subvention une fois payée.

« M. Jacqmin (tome II, page 83 de son ouvrage) a exprimé l'opinion que l'exploitation des lignes locales se ferait plus économiquement par de petites compagnies, mais on est tenté de ne voir dans ses paroles qu'une critique spirituelle des exigences qu'on a pour les grandes Compagnies ; car celle de l'Est a continué à agir dans le sens opposé. Pour la ligne de Rambervillers à Charmes (concédée le 3 août 1868, comme pour celle de Munster à Colmar, elle a bien laissé à la Compagnie locale le soin de construire, mais elle s'est chargée de l'exploitation.

« Ces deux faits ne corroborent-ils pas l'opinion qu'en France les lignes d'intérêt local, construites à la voie de $1^{m}.50$, ne pourront être exploitées d'une façon notablement différente des grandes lignes ?

« En ce qui touche la question du transbordement volontaire, j'ai recueilli les données suivantes à la gare de bifurcation de Saint-Sulpice-Laurière, située à l'intersection des lignes de Châteauroux à Limoges et de Montluçon à Poitiers. On y transborde actuellement en moyenne 20 wagons, soit 120 tonnes par jour ou 45,000 tonnes par an ; et le tonnage transbordé suit une marche ascendante rapide, au fur et à mesure du développement du trafic local. Ce transbordement est effectué par une équipe de cinq hommes, payée 14 fr. par jour, ce qui fait 14/120, soit 0 fr. 11 c. à 0 fr. 12 c. par tonne. A ce chiffre, il faut ajouter la dépense de deux employés occupés aux écritures, soit 6/120 = 0 fr. 05 c. Total 0 fr. 17 c.

« En ce qui touche enfin le minimum de dépense kilométrique réalisé dans la construction de lignes à la grande voie, j'ai obtenu quelques renseignements sur la ligne de Saint-Dizier à Wassy, construite pour le compte d'une Compagnie locale par celle de l'Est, avec cet esprit d'économie qui préside à tous ses travaux. Cette ligne, longue de 21,900 mètres, parcourt un pays éminemment facile, mais comporte cependant un pont biais sur la Marne de 75 mètres de longueur. Le maximum des déclivités est de 0.017, les rayons ne descendent pas au-dessous de 500 mètres. Les comptes ne sont pas complétement apurés, mais on peut admettre que la dépense kilométrique ne dépassera pas 80,000 fr., savoir :

Frais généraux	6,000 fr.
Terrains	11,000
Terrassements et ouvrages d'art	16,000
Ballastage et pose	7,500
Voie et matériel fixe	29,000
Bâtiments	9,000
Divers	1,500
Total pareil, non compris matériel roulant	80,000 fr.

« Ce chiffre se rapproche beaucoup de celui indiqué pour Vitré à Fougères, et semble devoir marquer la limite inférieure des économies à réaliser dans la construction des chemins à section ordinaire.

« J'arrive à l'objet principal de ma communication : le projet que j'ai dressé d'un chemin de fer à la voie de 1 mètre destiné à relier la ville de Saint-Pourçain (Allier) à la station de Varennes-sur-Allier. Saint-Pourçain est placé à cheval sur la Sioule, et séparé par la grande vallée submersible de l'Allier de la ligne du Bourbonnais qui en suit la rive droite.

« Le tracé projeté prend son origine en face du bâtiment des voyageurs de Varennes, et longe d'abord, sur 1,450 mètres de longueur, le grand remblai de la ligne du Bourbonnais jusqu'à la rencontre de la route impériale se dirigeant d'équerre sur Saint-Pourçain. Au lieu de placer la bifurcation près de cette route, il a paru préférable de prolonger la petite voie jusque dans la station de Varennes, tant pour assurer aux trains de l'embranchement l'indépendance absolue de leur mouvement, que pour échapper aux charges relatives à la gare commune. En débarquant, en effet, directement dans la cour, comme un simple omnibus, on échappe aux règles ordinaires de partage que de nombreux précédents ont consacrées.

« Arrivé à la route, on s'établit sur l'accotement et on le suit sur une longueur de près de 7 kilomètres. La plate-forme de la voie, de $2^{m}.20$ de largeur au niveau supérieur des traverses, est projetée de $0^{m}.25$ à $0^{m}.30$ en contre-haut de la chaussée et séparée de celle-ci par une murette en pierre sèche formant comme un trottoir. La route ayant assez généralement 14 mètres de largeur entre fossés et une chaussée de $7^{m}.80$, l'accotement actuel suffit presque partout pour recevoir la voie. La distance entre l'axe de la route et l'axe du chemin de fer varie de $3^{m}.50$ à $5^{m}.50$. La traversée de l'Allier s'effectue sur le trottoir du pont métallique actuellement en construction pour le compte de l'État et projeté dans cette intention. Une seule tranchée, de $3^{m}.50$ de plus grande profondeur, est prévue au faîte séparatif de l'Allier et de la Sioule, pour ramener la déclivité à 0.016 en s'écartant légèrement de la route.

« La voie ne s'arrête pas au faubourg de Saint-Pourçain, mais pénètre au cœur de la ville, en s'établissant d'abord sur 250 mètres de longueur dans l'axe de la large rue du faubourg, en traversant ensuite les deux ponts de la Sioule d'une longueur totale de 98 mètres sur des poutres métalliques posées sur les arrière-becs des piles existantes, et en longeant enfin la promenade publique dont on suit les deux tournants à angle droit au moyen de courbes de 36 mètres de rayon. Pour arriver dans la gare, projetée à côté de la Minoterie, on traverse encore le ruisseau du Gadet. En tête de la gare et à cheval sur ledit ruisseau, il y a un triangle de voies qui permet de retourner les trains bout à bout et de pousser un embranche-

ment jusqu'à la halle aux blé et la place du marché, toujours en côtoyant la promenade. Aucun chemin à voie de 1m.50 ne saurait accomplir de pareils prodiges.

« Il va sans dire que la vitesse des trains, qui pourrait être de 20 à 30 kilomètres dans le parcours des premiers 8,600 mètres, où les rayons sont de 80 mètres au moins, serait réduite au pas dans la traversée du faubourg sur les derniers 700 mètres.

« La longueur totale du tracé, non compris l'embranchement, est de 9,300 mètres. J'ai évalué la dépense à 420,000 fr., soit 45,200 fr. par kilomètre, savoir :

Personnel et frais	2,200 fr.
Terrains	1,300
Terrassements, perrés et ouvrages d'art courants	6,800
Ouvrages d'art extraordinaires	4,400
Ballastage et pose (compris murettes)	4,700
Matériel de voie et fixe (rails Vignoles de 20 kilog.)	15,300
Bâtiments	1,700
Divers	1,300
Matériel roulant	7,500
Total pareil	45,200 fr.

« Actuellement, la ville de Saint-Pourçain est desservie par des omnibus qui font huit voyages d'aller et retour dans les 24 heures, en correspondant à tous les trains, excepté les express, et qui ne prennent que 0 fr. 75 c. par personne. Cependant, le nombre des voyageurs annuels ne dépasse guère 20,000. Et quant aux marchandises, le tonnage actuel dans les deux sens est d'environ 15,000 tonnes. Dans ces conditions, tout en comptant un accroissement de moitié, on ne peut pas espérer un produit brut supérieur à 5,000 fr. par kilomètre, et il n'y aurait rien d'étonnant eu égard à la multiplicité forcée des départs que malgré toutes les simplifications du service ce produit fût complétement absorbé par les frais. Il faudrait donc que le capital de la construction fût fourni en entier par la ville, le département ou l'État.

« La première, la plus intéressée, y paraît peu disposée, car pourquoi n'aurait-elle pas un grand chemin de fer comme tant d'autres villes, et cela sans bourse délier!

« *Fiat experimentum in animâ vili!*

« Notons que jamais la grande voie ne pourrait pénétrer dans le faubourg, ni emprunter l'accotement de la route; qu'elle coûterait le triple et n'offrirait que trois départs par jour. Mais qu'importe!

« Avant de porter mon attention sur la ville de Saint-Pourçain, j'avais étudié un embranchement (toujours à la voie de 1 mètre) entre Salbris et Romorantin sur une longueur de 25 kilomètres. Là, les conditions du tracé sont tout à fait exceptionnelles: le pays est tout plat et ne présente aucun obstacle naturel; il n'y a qu'à suivre la route. Ce qui renchérit cependant la dépense, c'est la rareté du ballast et la nécessité d'élargir la route, et de la quitter sur les trois derniers kilomètres. Dans ces conditions, mon évaluation atteignait 50,000 fr. par kilomètre (matériel roulant compris), soit moins du tiers de la subvention que l'État donne à la Compagnie d'Orléans pour l'établissement de l'embranchement de Villefranche à Romorantin (1,100,000 fr. pour environ 7 kilomètres). Mais le trafic existant aujourd'hui entre Salbris et Romorantin ne représente qu'environ 1,700 fr. de recette par kilomètre. En admettant qu'il double, il n'y aurait encore là tout au plus de quoi couvrir les frais d'exploitation, sans rémunération aucune du capital engagé.

« Ce qui frappe dans les deux cas de Saint-Pourçain et de Romorantin, c'est l'excessive faiblesse du trafic. Ce qu'il faut en conclure, ce n'est pas que l'évaluation est trop faible, mais que déjà la plupart des lignes concédées en dernier lieu, et concédées avec la grande voie, pourraient bien réserver à l'avenir des déceptions amères. Je m'en étonnerais d'autant moins que je connais un embranchement appartenant à une grande Compagnie de plus de 50 kilomètres de longueur, qui a coûté près de 160,000 fr. par kilomètre, sans le matériel roulant, et qui rapporte brut 2,500 à 3,000 francs par kilomètre et par an.

« Ces divers faits me confirment dans ma pensée qu'il eût été opportun de diviser le réseau en deux : en un premier réseau à la voie internationale de $1^m.50$, et un second réseau vicinal à la voie de 1 mètre, coûtant 40 à 60,000 francs par kilomètre et pouvant s'exploiter d'après des principes essentiellement différents. Ces deux réseaux eussent reproduit en quelque sorte le double système des routes impériales et des chemins vicinaux. Mais plus on tardera de passer au second système, plus le passage rencontrera d'obstacles et moins il sera motivé, parce que l'économie totale à réaliser sur le réseau restant à construire sera d'autant moindre.

« Pour en finir avec l'éternelle objection tirée du transbordement forcé, voici une formule qui indique dans quel cas la petite voie mérite la préférence nonobstant ledit inconvénient; formule qui en langage ordinaire veut dire : quand les frais de transbordement capitalisés sont inférieurs à l'économie réalisée dans la construction :

$$0.05\, l\, e \geqq p\,(1 - t)\,T;$$

où 0.05 représente le taux de l'intérêt,

l la longueur de la ligne;

e l'économie kilométrique à réaliser dans la construction par la substitution de la petite voie à la grande;

p le prix du transbordement d'une tonne;

t la fraction du trafic qui se transborderait quand même l'embranchement n'aurait pas une voie différente (soit 1/4 ou 1/5);

T le tonnage annuel passant de l'embranchement sur la voie principale et *vice-versâ*;

« Pour $e = 20{,}000$ fr., $p = 0^f.20$, $t = \frac{1}{4}$ et $T = 20{,}000$, il suffit que l'embranchement ait plus de 3 kilomètres.

« Cette formule laisse de côté les frais d'exploitation proprement dits, ou plutôt elle suppose que l'exploitation sera aussi chère sur la petite voie que sur la grande, hypothèse évidemment favorable à cette dernière.

« Tandis qu'en France les chemins de fer à petite voie continuent à être repoussés par l'opinion publique, celle-ci commence à s'en préoccuper en Allemagne. Le Comité technique de l'Union des chemins de fer allemands (union qui embrasse la totalité des États allemands et l'Autriche) vient d'arrêter un programme pour l'établissement des chemins de fer « secondaires », en recommandant les largeurs de voie de 1 mètre et de $0^m.75$, en insistant sur la nécessité de multiplier les départs, considération que j'ai développée l'année dernière dans notre séance du 1er mai. Les Allemands ont les premiers appliqué en grand le fusil à aiguille qui était condamné par les autorités les plus respectables; qui sait? peut-être réaliseront-ils aussi les premiers l'idée pourtant française d'un second réseau de chemins de fer à voie réduite. Ce jour-là tout le monde se convertira.

« Veuillez agréer, etc., etc. »

M. Marché rend compte à la Société d'une note reçue de M. *Haughton*, ingénieur, conseil du London and North-Western railway et Président de la Société des Ingénieurs civils et mécaniciens, sur les *poids utiles et les poids morts trainés en 1867 par la locomotive.* Il donne de ce travail, intéressant à tous égards et qui renferme de curieuses données statistiques sur l'exploitation des chemins anglais, une analyse détaillée qu'il accompagne de quelques observations personnelles.

En Angleterre, comme en France, une vive polémique est engagée contre les Compagnies, et ce qu'on nomme le « great railway monopoly » : rachat des lignes par l'État pour obtenir l'abaissement des tarifs, réformes identiques à celles en cours d'essai en Belgique, ou même taxes uniformes par l'assimilation du service des chemins de fer à celui des postes, telles sont les thèses soutenues par les publicistes anglais et que M. Haughton se propose de réfuter, en faisant simplement connaître au public anglais quelques chiffres éloquents résultant des statistiques publiées par le *Board of trade* et dont la seule énonciation lui paraît suffire à démontrer que tout est pour le mieux dans l'exploitation des chemins anglais.

La note débute par le tableau de l'état actuel du réseau de la Grande-Bretagne qui se résume comme il suit, après transformation des mesures anglaises en mesures françaises :

Le Royaume-Uni possède 22,928 kilomètres de railways (ou 35,551 kilomètres de simple voie), construits au prix total de 12,556,675,000 fr. représentant une dépense kilométrique moyenne de 547,652 fr. par kilomètre.

La recette annuelle du trafic est de 987,000,000 fr., soit par kilomètre 41,480 fr. Ce trafic est représenté par les chiffres suivants :

287,688,000 voyageurs parcourant chacun.....	$20^{kil.}.519$
150,537,770 tonnes de marchandises parcourant chacune.....	$40^{kil.}.233$

6,328,490 trains chargés par an et effectuant un parcours total de 239,052,190 kilomètres, soit par jour, en comptant 330 jours de travail par an, 724,098 kilomètres ou 31.6 trains parcourant par jour la totalité de la longueur du réseau.

M. Marché fait remarquer que la recette kilométrique moyenne a été en France, en 1867, de 45,244 fr., que comme les tarifs appliqués sont plus bas de 30 p. 100 environ que les tarifs anglais, ce chiffre représente un mouvement d'unités kilométriques supérieur d'un tiers au mouvement moyen sur le réseau anglais, et que néanmoins le nombre de trains parcourant la ligne entière est beaucoup moindre en France qu'en Angleterre, ce qui permet déjà d'entrevoir de grandes différences dans les conditions d'emploi et d'utilisation du matériel roulant.

Dans ses calculs sur les poids morts, M. Haughton abandonne avec raison la pratique habituelle des conseils d'administration et substitue comme unité l'*horizontale mile ton*, la tonne transportée à un mile de distance, au *train mileage*, train parcourant un mile, de même qu'en France on préfère maintenant au train kilométrique la tonne kilométrique, seule donnée qui permette de se rendre un compte exact des conditions de l'exploitation.

M. Marché, en transformant les mesures anglaises, a naturellement remplacé l'*horizontale mile ton* par la tonne kilométrique, l'*horizontale mile ton* équivalant à $1^{t.k.},6345$.

En 1867, le travail total s'effectuant sur les chemins anglais, en comprenant dans les poids morts, outre le poids des véhicules, celui des machines locomotives, a été de :

1° 3,924,624 trains de voyageurs parcourant chacun 30ᵏ.706.

Poids utile.....	27,902,310	tonnes, soit.....	4.89 °/₀
Poids mort.....	542,102,034	tonnes, soit.....	95.11 °/₀
	570,004,344		100 »

2° 2,403,866 trains de marchandises parcourant chacun 49ᵏ.309.

Poids utile.....	148,930,677	tonnes, soit.....	30.34 °/₀
Poids mort.....	341,808,110	tonnes, soit.....	69.66
	490,738,787		100 »

Totaux : 6,328,490 trains parcourant chacun 37ᵏ.77.

Poids utile.....	176,832,987	tonnes, soit.....	16.67 °/₀
Poids mort.....	883,910,144	tonnes, soit.....	83.33
	1,060,743,131		100 »

Soit : Trains de voyageurs..... 17,502,553,405 tonnes kilom.
Trains de marchandises..... 24,197,838,848
Travail total en tonnes kilom. 41,700,392,253 tonnes kilom.

Le travail a été fourni par 8,619 machines locomotives, soit, par chacune d'elles, travail moyen de 4,838,193 tonnes kilométriques par an, et chaque jour, à raison 330 jours par année, 14,643 tonnes kilom., équivalant à 388 tonnes transportées ᵏ.77, avec un parcours annuel de 27,735 kilomètres par machine.

. Marché développe le calcul du travail mécanique fourni par chaque locomo-, qu'établit M. Haughton, avec les données ci-dessus, en admettant que les pes et les pentes se compensent, que la résistance moyenne en plaine est de res par tonne ou 4ᵏ.08, la charge du train moyen de 167ᵗ,6, et la vitesse moyenne *84 par heure.*

en résulte que chaque locomotive produit en moyenne un travail mécanique de *evaux.6 par* seconde, pendant 2 heures par jour et 330 jours par an.

Haughton reconnaît que les machines peuvent fournir, sans être forcées, un *il de* 400 chevaux ; mais il énumère les circonstances qui s'opposent à l'utilisa-le toute la puissance des machines : réserves, manœuvres, garages, mises en ettoyages, réparations, etc., et la nécessité d'un excédant de matériel pour à toutes les éventualités.

onvient de dire que pour déterminer les valeurs totales des poids utiles et des morts indiqués précédemment, on n'a pas, comme nous pouvons le faire en e avec les renseignements de nos comptes rendus, pris pour point de départ cours annuels des machines, voitures et wagons, mais qu'on a dû établir d, sur appréciation, la composition du train moyen de voyageurs et de mar-ses, et multiplier ensuite le poids de chacune de ces unités par les nombres ns : il n'y a donc qu'une approximation dans le chiffre d'ensemble.

i d'ailleurs comment M. Haughton apprécie la composition de chaque train :

Poids moyen d'un train moyen de voyageurs en 1867.

s mort.	Machine et tender.....	50.78	
	7 voitures à 8ᵗ.11 chacune.....	56.88	
	2 Breaks.....	10.15	117.81

	Retour des voitures vides, etc., soit 1/6e du poids ci-dessus.....		20.30
	Total du poids mort.....		138.11
Poids utile.	73 1/4 voyageurs avec bagages à 2 quintaux chacun.....		7.11
			145.22

Rapport du poids utile au poids total..... 4.89 p. 100
Poids total à transporter par voyageurs..... 1982 kilog.
Vitesse moyenne : 34 miles ou 54 kilomètres à l'heure.

Poids moyen d'un train de marchandises en 1867.

Poids mort.	Machine et tender.....	50.78	
	2 Breaks.....	8.12	
	6 wagons à marchandises à 3 1/2 tonnes pour charger 3 tonnes.....	21.33	
	6 wagons à houille à 3 1/2 tonnes pour charger 7 tonnes.....	21,33	101.56
	Retour à vide de 2 wagons à marchandises et des 6 wagons à houille	28.44	
	1/4 machine et tender, retour à vide.....	12.19	40.63
	Total du poids mort.....		142.19
Poids utile.	Marchandises.....	19.30	
	Houille.....	41.64	
	6 1/2 têtes de bestiaux.....	1,07	62.01
			204.20

Rapport du poids utile au poids total..... 30.2 p. 100
Poids total à transporter par tonne de marchand.. 3,300 kilog.
Vitesse moyenne : 18 miles ou 29 kilomètres à l'heure.

D'après une observation faite par M. Haughton vers la fin de sa note, le chiffre de voyageurs par train 73 1/4 indiqué ci-dessus est le nombre de voyageurs recueillis par train ; or, comme le parcours moyen des voyageurs est de 20k.5, celui du train est de 30k.6, le chiffre réel des voyageurs à parcours complet, sur lequel doit être basée la composition du train moyen de voyageurs, ne serait que de

$$73\ 1/4 \times \frac{20.5}{30.6} = 49.07.$$

Une rectification des chiffres précédents résulterait de cette observation ainsi que celle identique qu'il y a lieu de faire pour les marchandises. Cette rectification ferait d'ailleurs qu'augmenter encore le rapport du poids mort au poids utile.

M. Marché appelle l'attention sur le poids élevé du train moyen de voyageurs, 145 tonnes, eu égard surtout à la vitesse, sur sa faible contenance en voyageurs et sur le poids élevé du matériel voitures qui serait de 66 tonnes pour 228 places, c'est-à-dire de 300 kilog. par place offerte, le double du chiffre correspondant en France.

Enfin, la moyenne générale du rapport du poids utile au poids total serait

16.7 p. 100, et le poids total transporté par tonne de poids payant serait de 6,000 kilog.

C'est sur ce résultat qu'il formule ainsi : *il faut 19 tonnes d'équipement pour transporter une tonne de voyageurs, 2t.300 pour une tonne de marchandises et 5 tonnes pour une tonne quelconque de poids payant*, qu'insiste M. Haughton, qui pense que l'ignorance où se trouve le public anglais de ces conditions spéciales est tout le secret de son mécontentement.

Cet énorme poids mort à transporter avec les voyageurs est d'ailleurs la conséquence du comfort, de la sécurité et de la vitesse ; il ne pourrait être réduit qu'aux dépens de ces avantages.

La note de M. Haughton renferme quelques autres chiffres intéressants à signaler.

Les recettes par kilomètre des 73 1/4 voyageurs reçus par train en 1867 sont :

	Voyageurs.				Chiffres corrigés.
1re classe.....	8 1/4	à	0f.129	1f.06	0f.95
2e classe.....	20	à	0 .094	1 .88	1 .75
3e classe.....	45	à	0 .0645	2 .90	2 .85
	73 1/4			5 .84	5 .55

La colonne *chiffres corrigés* tient compte des billets d'aller et retour. Le tarif moyen appliqué est donc de 0f.0758 par voyageur et par kilomètre. En France, il a été, en 1867, de 0f.055.

Chaque train de voyageurs, pesant 145 tonnes, avec un parcours moyen de 30k.706, donne un revenu de 114 fr. 24 c., soit, par train kilométrique, 3 fr. 72 c.

Par tonne kilométrique de poids utile.....	0f,758
— poids total.....	0 .026

Chaque train de marchandises, pesant 204 tonnes, parcourant 49k.309, donne une recette de 224 fr., soit 4 fr. 54 c. par train kilométrique.

Par tonne kilométrique de poids utile.....	0f.089
— poids total.....	0 .022

En France, en 1867, la tonne de marchandises a produit 0f.0598 par kilomètre.

Les deux chiffres du revenu par tonne kilométrique de poids total transporté, 0f.026 pour les voyageurs et 0f.022 pour les marchandises, sont-ils proportionnels aux dépenses correspondantes de ces deux services ? M. Haughton le pense, et cela lui paraît résulter de l'espèce de balance qu'il établit entre les deux sortes de transport, portant au débit du service des voyageurs ces deux circonstances : vitesse presque double et capital engagé en véhicules-voitures supérieur à celui concentré aux véhicules-wagons, et à son crédit l'excédant de revenu de 0.004 par tonne kilométrique de poids total, la moindre fatigue supportée par les voitures en raison de la moindre charge sur les essieux, la plus grande facilité de chargement des voitures, etc.

M. Marché ne croit pas pouvoir admettre cet équilibre, et suppose que si le poids des trains de voyageurs n'est pas exagéré dans les évaluations précédentes, la différence de revenu serait insuffisante à couvrir l'excédant de dépense due à la plus grande vitesse des transports de voyageurs, et que, par conséquent, en Angleterre les marchandises payeraient en partie pour les voyageurs.

Il donne lecture des derniers paragraphes de la note dans lesquels l'auteur déclare que le public ne peut se plaindre des conditions actuelles des tarifs, et qu'en présence du fait étrange relevé que le voyageur anglais porte avec lui deux tonnes d'accessoires de train et la tonne de marchandises 3,300 kilog., poids qu'aucun procédé connu ne peut réduire sans altérer la somme de sécurité personnelle, de confort et de vitesse possédée aujourd'hui, le public anglais, à même de se rendre compte de l'énorme puissance développée pour produire un travail total annuel représenté par le chiffre de 42 milliards de tonnes kilométriques, se fera une idée de ce qu'est *ce monstre dévorant et insatiable qu'il a chargé du service de ses besoins modernes* et se réconciliera avec les tarifs actuels et les propriétaires des railways.

En résumé, l'argumentation de M. Haughton, en réponse aux adversaires des Compagnies, se réduit aux deux points suivants :

1° La machine locomotive ne peut, en raison des nécessités des services accessoires, être utilisée que *pendant 2 heures par jour et 330 jours par an*, le travail mécanique produit pendant cet espace de temps n'étant que *le quart de sa puissance totale.*

2° *L'énorme poids mort que le transport d'une tonne utile exige justifie les tarifs élevés des Compagnies et s'oppose à leur abaissement.*

M. Marché, sans combattre ces deux arguments, ne peut s'empêcher de faire ressortir le danger qu'il y a à les présenter sous cette forme et la nécessité de joindre, aux chiffres relevés par M. Haughton toute une série de données indispensables pour démontrer non-seulement que telles sont les conditions actuelles des transports par voie ferrée, mais encore et surtout que ces conditions ne résultent pas d'une organisation sérieuse du service, et sont la conséquence inévitable des exigences du public en matière de vitesse, de fréquence et de régularité.

En effet, le calcul de M. Haughton sur le rendement de la locomotive ne servirait-il pas mieux la thèse des adversaires des Compagnies que la sienne ? N'a-t-il pas lieu de craindre qu'on lui dise : Votre exploitation est tellement organisée, votre matériel moteur est en tel excédant comme puissance et comme quantité, que vous êtes parvenu à posséder un moteur inanimé qui n'est utilisé que deux heures par jour et au quart seulement de sa puissance ! Est-il possible que les services accessoires : mises en feu, garages, réparations, etc., exigent un temps 6 à 8 fois plus prolongé que celui du travail utile ? Quels chevaux que vos machines qui doivent rester 22 heures par jour à l'écurie pour être nettoyés, pansés et soignés !

Cette question aurait donc besoin d'être développée. Il conviendrait de bien faire connaître le temps nécessaire à chacune des opérations accessoires, d'en bien démontrer l'indispensable nécessité et de réduire à néant, une fois pour toutes, s'il y peut, l'arsenal d'objections faites aux Compagnies sur l'exagération de la puissance du poids et du nombre des locomotives. Ce travail devrait tenter un ingénieur de la traction, qui, ayant en main les résultats de ce service spécial, serait en mesure de donner exactement l'*emploi de la journée* d'une machine.

Quant à la seconde partie de l'argumentation de M. Haughton, elle est incomplète aussi : il ne suffit pas de constater le chiffre élevé du poids mort, il faut en rechercher les causes, prouver qu'il n'incombe pas aux Compagnies ; il faut le décomposer, montrer d'une manière frappante à quel prix énorme le public a acheté la fréquence et la régularité, analyser enfin les phénomènes, peu prévus à l'origine, auxquels a donné naissance le mouvement des chemins de fer.

M. Marché annonce à la Société qu'il lui communiquera prochainement un travail

complet sur cette question, dans lequel il aura du reste l'occasion de comparer les chiffres relatifs à l'exploitation des chemins anglais aux résultats obtenus dans notre pays, et dont l'objet spécial sera la détermination et l'analyse du *rapport exact des poids morts et des poids utiles dans les transports sur voie ferrée.*

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Marché de son intéressante communication, et l'engage à donner le plus tôt possible le travail de comparaison dont il vient de parler.

Séance du 20 Août 1869.

Présidence de M. MICHEL ALCAN.

Le procès-verbal de la séance du 6 août est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Chevandier de Valdrôme, membre de la Société, vient d'être promu au grade de Commandeur dans l'ordre impérial de la Légion d'honneur, et MM. Bellier, Lecœuvre, Le Roy et Malo ont été nommés Chevaliers du même ordre.

M. LE PRÉSIDENT annonce également que le Conseil d'État a approuvé les modifications apportées aux statuts de la Société.

M. ARSON présente à la Société le niveau d'eau de M. Richer. Cet appareil très-simple se compose d'un tube horizontal fermé par deux glaces. On remplit d'eau jusqu'à mi-hauteur, et le plan supérieur de l'eau forme une nappe entre les deux glaces. L'œil regarde à travers l'eau, juste au-dessous de cette nappe, dont la ligne d'intersection avec la glace sert de repère pour mettre la mire à hauteur. Un observateur peu exercé pourrait être pour un côté soit au-dessus, soit au-dessous du plan d'eau, mais avec un peu d'habileté on évite cet inconvénient, et on a constaté que l'erreur de lecture diminuait de moitié. Le prix de cet instrument est de 15 fr. tout complet.

M. SIMONIN rappelle qu'il a déjà entretenu la Société des exploitations de l'État de Nevada et du Colorado. On a trouvé récemment dans le premier de ces États, à White-Pine, un minerai d'argent très-riche, du chlorure d'argent massif, se coupant au couteau et renfermant jusqu'à 80 0/0 d'argent. Déjà le pays est en pleine exploitation. Il est vrai que la simplicité de la loi sur les mines favorise ce résultat; cette loi d'origine espagnole accorde sans délai à l'exploitant 500 pieds de longueur de filon; on double cette longueur si l'exploitant est l'inventeur du gîte. — Dans l'espèce, on ne sait si le gîte est un filon ou un amas, d'où il résulte des difficultés intéressantes dans l'application de la loi. On manque d'hommes de métier pour diriger ces recherches et les exploitations.

La question est surtout de savoir comment traiter utilement les minerais complexes, appelés *sulfurets*, parce qu'ils sont composés de sulfures, le plus souvent de sulfures de fer auro-argentifères. Leur composition aux essais au laboratoire accuse des teneurs très-élevées en argent et en or. On ne retire par le procédé en grand que 2/3 à 3/4

des métaux précieux contenus. Dans les scories on perd donc de 1/4 à 1/3 de ces métaux. Beaucoup d'inventions et de machines ont été faites, mais la plupart n'ont pu être appliquées. Le plus souvent le transport de ces machines n'a pu être effectué. Ce fait s'est reproduit ailleurs. Les routes, dans tout le Colorado, sont jonchées de pièces mécaniques de toutes sortes, abandonnées faute d'argent pour payer les transports.

M. l'ingénieur des mines, Rivot, a importé le procédé suivant pour le traitement des sulfures auro-argentifères en Californie : il grille le minerai en présence de la vapeur d'eau, puis le passe à un broyeur perfectionné, où l'amalgamation a lieu.

M. Nolf, chimiste français établi à San-Francisco, a fait appel à l'électricité et paraît avoir trouvé un traitement praticable.

D'autres inventeurs ont eu recours à la chloruration, soit par le chlore sec, soit par l'acide chlorhydrique.

M. Simonin signale un fait capital, c'est la découverte incessante de gîtes de minerais précieux, qui attire successivement sur ces divers pays des mineurs destinés à y planter les premiers jalons de la colonisation.

M. Simonin, comme preuve de ces découvertes sans cesse renouvelées, cite la Californie, où les *placers*, après avoir été appauvris, puis refouillés par des Chinois patients qui en tiraient encore quelque chose, avaient été abandonnés. On a trouvé sous ces placers superficiels, en s'enfonçant sous le sol, quelquefois à 3 ou 400 pieds de profondeur, des sortes de placers antédiluviens dans le lit de rivières mortes, si l'on peut dire ainsi. Lorsque ces placers ne sont pas trop profonds, on creuse une tranchée et on les exploite par la méthode hydraulique. Des compagnies spéciales construisent des canaux qui ont quelquefois de 2 à 300 kilomètres et vendent l'eau et la chute aux mineurs. Au moyen de tuyaux armés d'une lance, on affouille le terrain d'alluvion à la base de la tranchée qui finit par s'écrouler. On jette les terres dans les canaux, où sont des godets à mercure qui dissolvent tout l'or. Au bout de quelque temps on recueille l'amalgame qui contient environ 1/3 d'or.

Le titre du métal recueilli est de 800 à 815/1000.

Le procédé hydraulique est si parfait qu'on retire jusqu'à 3 fr. d'or par mètre cube de terre traitée.

Lorsque les exploitations sont souterraines, il faut amener les sables au jour pour les laver dans les canaux. On ne peut traiter alors que des gîtes riches, capables de rémunérer cette dépense d'extraction.

M. Simonin, revenant aux mines d'argent de la Nevada, mentionne la disposition spéciale du filon de Washoe.

Le mur du filon est parfaitement plan et dessiné comme à la truelle. On l'aperçoit quelquefois dans l'intérieur des travaux sur de très-grandes hauteurs. Quant à l'exploitation, elle se fait avec une ampleur tout américaine. Les boisages des galeries sont luxueux ; on y trouve des bois de $0^{m}.50$ d'équarrissage, et il n'y a souvent aucun intervalle entre les pièces.

Dans certaines exploitations, les chambres des machines sont tenues comme de vrais palais.

Aujourd'hui une partie des mines sont arrêtées par suite d'inondations ou d'appauvrissement, et l'on se repent de ces folles dépenses.

L'espoir d'assécher utilement toutes les mines a fait naître chez un Américain un projet gigantesque. M. Sutro veut faire un tunnel de plusieurs kilomètres, et se joindre ainsi le filon à 900 mètres de profondeur. Les conditions d'exploitation et

minerai seront ainsi très-simplifiées. Un tel projet intéresse au plus haut point l'art de l'ingénieur, et c'est pour cela que M. Simonin le fait connaître.

M. E. Mayer demande quelle est l'épaisseur du filon.

M. Simonin répond qu'elle est très-irrégulière, mais qu'elle va quelquefois à 100 mètres.

Quelques considérations sont ensuite échangées entre M. Simonin et M. le Président au sujet de la colonisation des territoires américains.

M. Simonin pense qu'en général la disparition ou le cantonnement de la race indigène est nécessaire, et c'est ce qui est arrivé dans toutes les colonies qui ont réussi. C'est une sorte d'expropriation pour cause d'utilité publique, faite par la civilisation.

M. le Président pense que le principe énoncé de M. Simonin sur la disparition des indigènes, qui est un fait incontestable chez les peuplades sauvages des contrées dont il parle, ne doit pas être généralisé et n'est pas applicable aux indigènes des pays qui ont acquis un certain degré de civilisation. L'activité de ceux-ci doit pouvoir être utilisée au profit de la civilisation. Il devrait en être ainsi notamment pour les Arabes de nos possessions de l'Afrique, dont le sol et le climat sont si favorisés qu'ils pourraient fournir à la mère patrie un grand nombre de substances, telles que certains minerais, les huiles, des soies, du coton, les lins, les laines, etc. Il serait intéressant d'approfondir les causes pour lesquelles les espérances que donne sous ce rapport notre colonie d'Algérie sont si lentes à se réaliser. Cette question est trop importante pour être traitée incidemment. M. le Président émet le vœu de la voir discuter d'une façon spéciale approfondie par la Société. Il espère que ceux de ses collègues qui ont quelques documents à ce sujet, voudront bien les fournir et contribuer à préparer la discussion utile à laquelle le Président fait allusion.

M. Jules Armengaud jeune, fils, donne communication de son Mémoire sur quelques applications spéciales de la cinématique dans l'industrie et notamment dans la filature automatique.

En présentant cette communication, je n'ai pas seulement tenu à remplir l'engagement que prend le nouveau venu dans votre Société, j'ai désiré surtout appeler votre attention sur une des questions les plus intéressantes parmi celles qui relient directement la science à l'industrie.

Comme vous le verrez tout à l'heure, il s'agit ici d'une application immédiate de la *cinématique*, cette partie de la mécanique qui, seule, est si bien élucidée par le calcul et la géométrie et qui n'est pas, comme la *statique* et la *dynamique*, sujette à des incertitudes et souvent même à de graves erreurs en passant de la théorie à la pratique.

Si l'on envisage les différentes branches de l'industrie, on reconnaîtra sans peine que l'industrie dite *manufacturière* est celle qui, au plus haut degré, comporte et exige l'étude du mouvement en général avec les éléments ordinaires qui le déterminent, tels que la trajectoire et la vitesse du point matériel considéré. Il n'y a pas lieu de s'étonner de ce fait, si l'on songe que c'est dans les manufactures que le travail mécanique a reçu son plus grand développement; il y remplace presque partout le travail manuel, et cela, grâce aux moyens automatiques qui ont dû bien plutôt reproduire les mouvements, la direction et la vitesse de la main de l'homme que la force par lui développée.

Jusqu'ici la tradition nous apprend que ce sont plutôt les praticiens que les sa-

vants qui imaginent et perfectionnent les machines. Ils procèdent par expérience, mais souvent par tâtonnement. Les méthodes à suivre manquent, et l'on a à regretter dans les manufactures autant l'insuffisance des traités spéciaux que l'absence des ingénieurs.

Cependant toutes les industries manufacturières n'ont pas été aussi délaissées, et l'industrie des *arts textiles* en particulier a dû de trouver son histoire, sa théorie, son analyse, à un homme éminent qui lui a consacré toute sa vie; j'ai nommé notre honorable Président. Il est désirable que d'autres l'imitent, et viennent expliquer et éclairer bien des genres de fabrication qui dérivent plus de la routine que de la science, et qui, pour cette raison, cessent de faire de véritables progrès.

J'aborde maintenant quelques considérations qui sont indispensables à l'intelligence de la question que je vais traiter devant vous.

Il n'est pas d'industries spéciales qui ne comportent une ou plusieurs manipulations élémentaires, dont l'effet sur la matière travaillée est moins une transformation réelle qu'une prédisposition de celle-ci aux opérations suivantes.

De telles manipulations ne sont pas absolument indispensables, attendu qu'elles ne laissent aucune trace dans le dernier état qu'on impose à la matière, mais elles n'en sont pas moins très-importantes pour accélérer et faciliter le passage de la matière d'une phase à une autre de ses transformations.

Du nombre de ces manipulations est ce qu'on appelle en filature le *renvidage*. C'est par le renvidage sous forme de *bobines* que le fil acquiert la *structure provisoire* qui le rend maniable en lui laissant une longueur presque indéfinie, et qui permet ainsi de l'amener à l'état de *chaîne* ou de *trame* pour constituer un tissu.

Le renvidage avec l'étirage et la torsion concourt au filage des matières textiles; il s'effectue à l'aide de machines particulières qui peuvent se diviser en deux classes distinctes. La première comprend les *métiers à filer continus*, *bancs à broches* ou *throstles*, qui opèrent le renvidage simultanément avec l'*étirage* et la *torsion*: et la deuxième se compose des *métiers alternatifs*, *mull-jenny* à la main, métiers *automates* ou *self-acting*, ou *renvideurs mécaniques* dans lesquels le renvidage est une sorte d'opération isolée, indépendante et exécutée après les deux autres.

Le renvidage a pour but, ainsi que l'indique son nom, d'envider le fil fait, étiré et tordu, sur des tubes en bois ou carton et de le distribuer sur ces tubes en *couches* superposées dont la somme constitue la *bobine* finale ayant généralement la configuration connue sous le nom de cylindro-tronconique.

La condition essentielle qui doit présider à la formation de la bobine est la commodité du *dévidage*, surtout pour le fil de trame qui doit se dévider dans la *navette* du métier à tisser. Aussi donne-t-on le plus souvent à chaque couche élémentaire la forme d'un tronc de cône au lieu de la forme cylindrique et fait-on ce qu'on appelle le *renvidage conique*. C'est ce genre de renvidage qu'on pratique à la main dans le mull-jenny, et qui s'effectue automatiquement dans les métiers alternatifs self-actings, ou renvideurs mécaniques. Mais dans les métiers à filer continus, on ne produit guère que des fils de chaîne et on opère simplement le *renvidage cylindrique*, c'est-à-dire que la formation de la bobine a lieu par la couche cylindrique comme cela se passe dans les bancs à broches qui sont en quelque sorte des métiers continus à filer en gros. On est alors obligé, si l'on veut destiner les fils à la trame, de procéder au dévidage des bobines, afin de les convertir en *cannettes coniques*, opération qui s'exécute dans des machines dites cannetières, et qui entraîne beaucoup de déchets.

C'est là un fait curieux que les deux systèmes de renvidage en unité correspondent précisément aux deux classes de métiers qui se partagent aujourd'hui le filage des matières textiles. Les métiers alternatifs opérant tous le renvidage conique, tandis que les métiers continus sont limités au renvidage cylindrique, il est naturel de se demander pourquoi l'on ne fabrique pas des bobines coniques ou cannettes sur les métiers continus. A cette question plusieurs mécaniciens et filateurs répondent que c'est impossible, par la raison que dans les métiers continus les moyens employés pour effectuer simultanément la torsion et le renvidage s'opposent à une réglementation précise des mouvements variés auxquels est soumis le renvidage conique. Telle n'est pas mon opinion, et je pense que vous la partagerez, lorsque, par cette communication et les autres qui suivront, vous aurez été mis au courant des différents moyens mécaniques qui sont propres à réaliser le renvidage dans les métiers continus.

D'ailleurs les résultats des dernières recherches tendent à montrer qu'on touche aujourd'hui à la solution de ce problème difficile. Le succès s'est fait attendre, mais, vous le savez, il existe peu de machines qui soient assujetties à fonctionner dans des conditions aussi délicates que les métiers à filer, et quand, avec les opérations qu'ils ont déjà à exécuter, ils doivent, en outre, satisfaire aux variations de mouvement obligées par le renvidage, on s'explique la complication presque inévitable de leurs organes, et les obstacles pratiques qui en résultent. Aussi le banc à broches et le métier alternatif automate sont-ils regardés comme des chefs-d'œuvre de mécanique qui placent leurs inventeurs, Houldsworthe et Parr Curtis, au rang des premiers mécaniciens de ce siècle.

J'ose donc espérer, Messieurs, que vous ne refuserez pas de vous intéresser à cette question du renvidage qui, en nécessitant ces appareils, a donné lieu à une des plus belles applications de la cinématique.

DU RENVIDAGE CYLINDRIQUE DANS LES MÉTIERS CONTINUS A FILER, ET DES APPAREILS DE VARIATION DE VITESSE PROPRES A LE RÉALISER.

Lorsqu'on considère une bobine, on voit qu'elle est produite par la superposition d'une série de *couches distinctes* formées chacune d'un certain nombre de *spires élémentaires*. La possibilité de varier à la fois la nature et le mode de distribution de ces couches fait concevoir une infinité de manières d'arriver à la formation d'une bobine. En pratique, on n'admet que deux systèmes de renvidage : le renvidage cylindrique et le renvidage conique. Je commencerai par examiner le système cylindrique, car il sert en quelque sorte de base au renvidage conique dont l'étude fera l'objet principal des communications que j'aurai l'honneur de vous faire sur les applications de la cinématique en filature.

DÉFINITION DU RENVIDAGE CYLINDRIQUE. — Dans ce système, la bobine est confectionnée sur un *bobineau* à rebords ou sur un *tube* cylindrique; les couches qui la composent sont toutes *cylindriques* et *parallèles*, et, à partir de la première couche intérieure, elles augmentent de diamètre jusqu'à la dernière. Si l'on renvide sur un bobineau en bois, les couches ont toutes la même longueur et elles sont maintenues par les rebords du bobineau; mais si le fil est enroulé sur un tube en carton uni, la longueur des couches diminue progressivement de façon à obtenir la forme cylindro-tronconique qui est nécessaire au maintien du fil sur la bobine.

Dans les deux cas, les spires élémentaires de chaque couche doivent se toucher sans solution de continuité en formant une *hélice d'un pas égal à l'épaisseur du fil;*

ce mode de répartition évite toute perte d'espace, et satisfait pleinement à cette condition d'après laquelle le *bobinage* doit s'effectuer sous le plus petit volume possible.

Ce mode de renvidage cylindrique est celui qui s'opère dans les bancs à broches et dans les métiers continus à filer. Ces machines, on le sait, effectuent simultanément les trois opérations du filage; le fil qui y est étiré d'une manière continue est livré immédiatement à un organe spécial appelé *ailette,* qui amène le fil sur la bobine où il s'enroule en subissant la torsion voulue. Cette simultanéité des opérations de torsion et d'envidage a été le point de départ des machines de filature, ainsi que le prouve l'ancien rouet à filer.

Dans les bancs à broche, le bobineau et l'ailette sont commandés séparément, et l'envidage du fil a lieu par la différence de vitesse entre les deux organes. Il en est de même dans les derniers métiers continus à l'essai; mais pour la plupart des continus en usage, c'est le fil qui, animé d'un mouvement de rotation par l'ailette, entraine la bobine qui est folle sur la *broche*. Cette bobine est gênée dans son mouvement par son frottement sur la broche, ou par la friction d'un *frein* extérieur, de telle sorte qu'elle tourne moins vite que l'ailette qui enroule le fil autour de ladite bobine.

Quelquefois, et c'est ce qui a lieu pour les métiers à *retordre*, l'ailette consiste en un simple crochet ou anneau qui circule sur un collet entourant la bobine. La friction du crochet dans lequel on fait passer le fil avant son arrivée sur la bobine donne un retard qui suffit pour l'envidage.

Dans tous les cas, on voit que le renvidage résulte de la différence qui existe entre les vitesses de rotation de l'ailette et de la bobine, la rotation absolue de celle-ci produisant le tors du fil.

Pendant que la bobine tourne sur elle-même pour envider le fil, un mouvement de va-et-vient rectiligne est imprimé à l'ailette ou à la bobine, de façon à déplacer le point d'enroulement du fil.

Deux mouvements concourent donc à la formation de la bobine : d'une part, une *rotation rapide* qui contourne le fil en anneaux, et d'autre part une *translation lente* qui dépose successivement ces anneaux sur la bobine par couches ascendantes et descendantes.

DÉMONSTRATION DES LOIS DU RENVIDAGE CYLINDRIQUE. — Voyons maintenant dans quelles conditions doivent s'exécuter ces deux mouvements.

On remarque d'abord que, chaque couche étant régulière dans toute son étendue, c'est-à-dire formant une sorte de *boudin cylindrique hélicoïdal*, dont toutes les spires sont *parallèles et équidistantes*, la vitesse *d'envidage* doit rester la même pour toute la couche, ainsi que la vitesse du *déplacement rectiligne* du point d'*enroulement*: en un mot, les deux mouvements sont uniformes.

Mais d'une couche à l'autre, il y a changement du diamètre d'enroulement par suite de l'épaisseur de la couche précédente qui augmente le diamètre de la bobine, ou noyau sur lequel doit se former la couche suivante. C'est ce changement, ainsi que je vais le montrer, qui exige une variation dans la vitesse des deux mouvements précités.

En premier lieu, il est à remarquer que le travail de la matière textile, dans la première opération du filage pour les métiers, se produit d'une manière continue et uniforme; le fil se développe du cylindre de *livraison* avec une vitesse invariable, de telle sorte qu'il y a toujours une même longueur à envider dans un même temps

donné. Il suit de là qu'il faut changer la vitesse de rotation avec le diamètre d'enroulement, que cette vitesse doit diminuer puisque le diamètre augmente, enfin qu'elle doit varier *en raison inverse* du diamètre d'enroulement. Ainsi, quand le diamètre d'enroulement d'une couche augmente du double, la vitesse d'envidage est diminuée de moitié.

L'observation de cette loi des vitesses est nécessaire pour que le fil ne casse pas et qu'il conserve une *tension bien constante* pendant la formation de la bobine.

La variation des vitesses du mouvement de translation est soumise à une loi semblable. Ce mouvement uniforme pour chaque couche doit s'effectuer avec une vitesse inversement proportionnelle au diamètre d'enroulement ou d'envidage.

Il est naturel que cette loi soit la même que la précédente, puisqu'elle est nécessitée également par la variation des diamètres des couches successives à engendrer.

Il importe que, dans chaque couche, les spires soient exactement *juxtaposées*, qu'elles se touchent en formant une *hélice aussi peu inclinée* que possible et dont le pas soit égal à l'épaisseur du fil. Comme il doit en être ainsi pour une couche quelconque, il faut maintenir constamment le même écart vertical entre deux spires consécutives dans toute l'étendue de la bobine. Cette condition est remplie par la loi signalée plus haut qui fait varier la vitesse rectiligne du point d'enroulement.

Pour le prouver, considérons deux couches de diamètres entre eux comme 1 est à 2; une spire dans la seconde couche 2 exige d'après la première loi d'envidage deux fois plus de temps pour se former qu'une spire de la première couche 1. Mais le déplacement rectiligne, en vertu de sa propre loi, s'opère aussi par cette même couche 1 deux fois plus lentement; il aura par conséquent fait parcourir au fil enroulé pour un tour complet la même hauteur dans une couche que dans l'autre. Donc, quel que soit le diamètre d'une couche cylindrique, les spires qui la composent se touchent intimement et appartiennent à une hélice ayant pour pas l'épaisseur même du fil.

Ayant ainsi démontré les deux lois qui régissent le renvidage cylindrique, nous pouvons les résumer comme il suit :

ÉNONCÉ DES DEUX LOIS DU RENVIDAGE CYLINDRIQUE. — La première, relative à l'*uniformité de tension* du fil, exige que la vitesse du mouvement uniforme de la rotation de la bobine change d'une couche à l'autre, et *varie en raison inverse du diamètre de la circonférence d'enroulement.*

La deuxième, concernant la *répartition homogène* du fil, exige que la vitesse du mouvement uniforme de translation du point d'envidage change aussi d'une couche à l'autre, et *varie en raison inverse du diamètre de la circonférence d'enroulement.*

Sauf la nature des mouvements, ont voit que ces deux lois sont identiques, et que, pour les observer, un seul système de variation est nécessaire, pourvu qu'on emploie deux transmissions différentes : l'une transportant un mouvement de rotation continue, et l'autre transformant le mouvement originaire rotatif en un mouvement de translation rectiligne.

APPAREILS DE VARIATION DE VITESSE. — Le problème du renvidage cylindrique étant posé, je vais m'occuper maintenant au point de vue théorique des diverses solutions que l'on peut adopter.

Au premier abord, les difficultés à vaincre ne sont pas très-sérieuses, puisque les mouvements à produire sont tous *uniformes*, et qu'il s'agit seulement de *varier* leurs

vitesses à des intervalles de temps séparés correspondant aux durées de génération des couches successives.

D'une manière générale, si l'on veut satisfaire aux deux lois du renvidage cylindrique, dans les métiers continus comme dans les bancs à broches, le problème consiste à trouver des appareils tels qu'introduits dans la commande, ils soient capables de modifier par *intermittence* la vitesse constante qu'ils reçoivent de la poulie motrice, de façon à transmettre des mouvements *uniformes*, *consécutifs de vitesses différentes*. Les appareils qui sont aptes à fournir les meilleures solutions sont les suivants :

1° *Un cône droit sur lequel on déplace une courroie munie d'un tendeur;*

2° *Un système de deux cônes hyperboliques sur lesquels se déplace une courroie sans tendeur;*

3° *Une poulie extensible qui s'épanouit sous l'action d'un cône pénétrant à l'intérieur.*

Ces trois dispositions produisent l'effet d'une poulie hypothétique à diamètre variable.

4° *Un système de deux plateaux de friction rectangulaires, dont l'un tourne entraîné par l'autre.*

Étant pressé par le temps et désirant vous éviter l'ennui des transformations de calculs que vous trouverez d'ailleurs dans ma communication écrite, je me bornerai à résumer les résultats qui fournissent, pour chaque appareil de variation, la forme de la pièce fixe, la nature de la pièce mobile, et les relations dans lesquelles il faut placer ces deux éléments pour déterminer les variations de vitesse, conformément aux lois du renvidage.

Les données suivantes conviennent à tous les appareils :

D — *Diamètre* d'une couche quelconque de la bobine ; ce diamètre varie suivant une progression arithmétique dont la raison est le double du diamètre du fil.

W — *Vitesse de rotation d'envidage.* Elle est la différence entre la vitesse propre des bobines et la vitesse des ailettes. C'est sur cette différence qu'agit seulement l'appareil de variation. A cet effet, les bobines ou les broches portant les tubes qui servent de noyau aux bobines reçoivent leur mouvement de rotation totale par l'intermédiaire d'un mécanisme à *roue différentielle* qui leur communique d'une part la vitesse de rotation commune aux bobines et aux ailettes produisant la torsion du fil, et d'autre part la vitesse de renvidage fournie par l'appareil de variation.

V — Vitesse du mouvement de translation du banc portant les bobines ou les ailettes, et par lequel a lieu le déplacement du point d'enroulement.

En désignant par A et B deux constantes à déterminer, les deux lois du renvidage cylindrique se résument par les formules :

$$w = \frac{A}{d}, \qquad v = \frac{B}{d}.$$

1° Cône et courroie avec tendeur. — Une poulie de diamètre fixe R transmet sa vitesse constante O à un cône de révolution suivant des diamètres variables r par l'intermédiaire d'une courroie qui, avec la poulie, se déplace parallèlement à l'axe dudit cône.

La vitesse transmise au cône est :

$$\rho = \frac{R}{r} \times O;$$

on doit avoir ρ proportionnel à $w = \frac{A}{d}$ ou à $v = \frac{B}{d}$, c'est-à-dire égal à $\frac{C}{d}$.

On arrive ainsi à l'équation :

$$= \frac{R.O}{C} \times d.$$

Le déplacement de la courroie ayant lieu par amplitudes égales, on peut poser :

$$d = Kx,$$

d'où il suit, en posant $r = y$ et $\frac{ROK}{C} = a$,

$$y = ax,$$

équation d'une droite inclinée sur l'axe d'un angle dont la tangente est a.

La forme du cône est donc celle d'un *cône droit circulaire;* C et K sont des constantes qui sont déterminées par les conditions du métier, par exemple la vitesse de la broche vide, et la longueur de course de la courroie.

La courroie est mise en mouvement par l'action d'une crémaillère ou d'une came qui la fait avancer par déplacements égaux.

2° Deux cônes avec courroie sans tendeur. — L'emploi de ces deux cônes a comme principal avantage celui de dispenser de tendeur, car les deux cônes sont calculés de façon que la somme des deux diamètres des circonférences embrassées simultanément par la courroie soit toujours constante.

Y cône commandeur, de vitesse constante O,

Y' cône commandé de vitesse variable O'.

$$O' = O\,\frac{y}{y},$$

On pourra donc écrire :

$$O\,\frac{y}{y'} = \frac{C}{d}, \qquad d = Kx.$$

On a d'autre part :

$$y + y' = B \text{ constante.}$$

Prenons pour axe des x, l'axe du cône commandeur, et pour axe des y, une perendiculaire élevée au point où le diamètre du cône Y est égal à B, le diamètre orrespondant du cône Y' étant nul.

Par des transformations faciles, et après un changement de l'origine des axes reulé à une distance égale à $\frac{C}{KO'}$, on arrive à l'équation :

$$xy = Q, \qquad Q = \frac{BC}{OK}.$$

C'est l'équation d'une *hyperbole équilatère* rapportée à ses asymptotes.

Le cône commandeur Y est donc engendré par la révolution d'une hyperbole aur de son asymptote horizontale.

L'équation $x(B - y) = Q$

ontre que la courbe génératrice du cône commandé Y' est précisément la même;

seulement elle forme le cône en tournant non plus autour d'une de ses asymptotes, mais d'une droite qui lui est parallèle et qui en est distante d'une longueur mesurée par B.

Il résulte de là que toute section faite dans les deux cônes par le plan des deux axes donne deux portions de surfaces qui équivalent à un rectangle parfait.

3° POULIE AVEC CÔNE EXTENSEUR. — Cette poulie est formée de segments rayonnant vers un même centre; chacun d'eux est percé d'un œil traversé par une tringle formant l'une des génératrices d'un cône extenseur. La marche de celui-ci a pour effet d'écarter et de rapprocher les segments, ce qui dilate ou contracte la poulie en lui donnant les diamètres différents.

La théorie de l'emploi de ce système est la même que pour le premier cas, dans lequel il suffit de supposer que la courroie reste fixe et que le cône se déplace.

4° SYSTÈME DE DEUX PLATEAUX ROTATIFS A AXES RECTANGULAIRES. — Le mouvement se transmet par la friction des plateaux; l'un est stationnaire et l'autre est mobile, de telle sorte que la circonférence de contact change sur l'un des plateaux, qui ainsi transmet des vitesses variables.

Deux cas se présentent :

1° Le plateau commandé P est stationnaire et le plateau commandé Q est mobile.

Soit y le diamètre variable compté sur le plateau P; r le diamètre constant de Q dont la vitesse uniforme est O.

On doit avoir :

$$\frac{Or}{y} = \frac{C}{d}.$$

Le plateau mobile Q recevra son déplacement d'une came dont le rayon variera comme y, et dont les angles croîtront proportionnellement à d.

En posant donc $y = \rho$ et $d = K\omega$, on arrive à l'équation :

$$\rho = a\omega,$$

équation en coordonnées polaires d'une *spirale* qui est facile à établir en déterminant a avec les données du métier.

2° Le plateau commandé P est mobile et le plateau commandeur Q est stationnaire.

Dans ce cas, on comprend facilement qu'on obtient pour la came une *spirale réciproque* de la précédente et dont la formule est :

$$\rho = \frac{a}{\omega}.$$

L'étude de la cinématique permet de concevoir un plus grand nombre d'appareils de variation de vitesse, tels que des engrenages elliptiques ou curvilignes, des combinaisons de leviers, d'excentriques à coulisses, etc.; mais je crois convenable de me limiter aux appareils qui viennent d'être indiqués et qui ont donné en pratique les résultats les plus satisfaisants.

Toutefois, il faut insister sur ce fait que ce n'est seulement que dans les bancs à broches, c'est-à-dire pour le *filage en gros*, qu'un succès complet a été atteint par l'adaptation d'un appareil de variation de vitesse, principalement sous la forme du double cône. S'il n'en a pas été de même jusqu'ici pour les métiers continus,

c'est que l'introduction des appareils cinématiques n'est possible, dans ces machines, qu'avec le concours d'autres perfectionnements répondant aux conditions spéciales du *filage en fin*, la grande vitesse des broches, la forme des ailettes et surtout la douceur et la précision des mouvements en vue d'éviter la casse fréquente des fils. J'aurai l'occasion plus tard de vous montrer que ces conditions ne tarderont pas à être remplies, et que le métier continu, grâce aux appareils ci-dessus, fonctionnera bientôt de la manière la plus parfaite, en obéissant non-seulement aux *lois mathématiques* du renvidage cylindrique, mais encore à celles du renvidage conique.

SYSTÈME DE RENVIDAGE BASÉ SUR UNE SEULE LOI. — Avant de conclure, je crois utile de citer un système de renvidage qui a été imaginé par M. Vimont, en 1846, et qui présente un certain caractère d'originalité.

Ce système aurait le mérite de dispenser de l'application de la première loi d'envidage, car il laisse *constante* la vitesse de rotation des bobines, et il exige seulement une *variation* dans la vitesse du mouvement de translation. Mais il est entaché d'un vice radical qui en a fait rejeter bien vite l'adoption. On remarque, en effet, que les spires sont inégalement rapprochées dans les diverses couches, et laissent des creux différents qui empêchent leur exacte superposition; il en résulte une bobine mal confectionnée, non homogène, un serrage irrégulier du fil, et enfin un mauvais dévidage.

Les mêmes inconvénients se manifestent pour les autres systèmes de renvidage cylindrique, essayés jusqu'ici.

AVANTAGES DU SYSTÈME ORDINAIRE DE RENVIDAGE CYLINDRIQUE. — Le système dont je viens de développer les principes et les moyens théoriques de réalisation est celui qui s'offre naturellement à l'esprit et qui d'ailleurs est le plus ancien dans l'usage; il est le seul qui satisfasse pleinement aux conditions requises en filature, à savoir : homogénéité de la bobine, serrage parfait du fil sur le bobineau ou sur le tube, et enroulement de la plus grande quantité de fil possible sous un petit volume. Jusqu'ici, comme je l'ai dit, il n'existe pas de métiers continus qui soient convenablement combinés et construits sous le rapport du renvidage. D'abord en Angleterre, où les métiers sont en faveur, ils sont presque tous dépourvus de tout appareil de variation de vitesse. En France, au contraire, ce sont les mull-jenny et les métiers automates alternatifs qui se disputent la préférence des filateurs. Cependant on est porté à croire qu'un retour s'opérera vers les métiers continus, si l'on réfléchit aux résultats satisfaisants qui viennent d'être obtenus avec un nouveau système de métier continu qui fonctionne depuis peu à Reims. Je me propose d'en donner plus tard une description et une étude détaillées. Parmi les diverses raisons qui m'ont poussé à vous soumettre ce travail, il en est une d'un ordre tout moral que je dois vous signaler en terminant. En vous démontrant que la solution de la filature au continu est théoriquement et pratiquement possible, j'ai cherché aussi à vous en faire apprécier les avantages. Eh bien! ce n'est pas seulement à une production plus parfaite, plus économique et plus rapide que les métiers continus doivent leur supériorité sur les métiers mull-jenny automates, c'est aussi parce qu'ils rendent la tâche de l'ouvrier plus facile et plus hygiénique. Dans les métiers à chariot alternatif, les rattacheurs sont forcés de se courber ou de se pencher dans des positions très-fatigantes pour rattacher les fils; devant les bancs des métiers continus, au contraire, les ouvriers peuvent se tenir debout dans une attitude naturelle et commode; ils n'ont plus qu'à dé-

placer les mains pour rattacher les fils, qui d'ailleurs ne cassent que très-rarement. Les perfectionnements qui sont propres à favoriser l'extension des métiers continus ont donc un *but humanitaire*, et je ne doute pas qu'à ce titre cette communication, qui les touche, ne reçoive devant vous un bienveillant accueil.

M. LE PRÉSIDENT dit que M. Armengaud vient de faire entrevoir un détail d'une fonction accessoire en filature. Ce tout petit coin du rideau soulevé peut montrer combien il y a champ dans cette partie pour l'utilisation des connaissances mathématiques et mécaniques les plus étendues. L'exécution de tous les organes est très-délicate, la plus simple doit être encore très-précise. Dans la question qui vient d'être étudiée, les Suisses avaient essayé l'application d'une idée ingénieuse; ils faisaient leurs bobines par couches concentriques sur un même plan, superposées les unes aux autres et toutes de même longueur; ce système n'a cependant pas offert assez d'avantages pour se faire adopter.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Armengaud de son intéressante communication.

M. Thoulet a été reçu membre sociétaire et M. Geyler, membre associé.

Séance du 17 Septembre 1869.

Présidence de M. MICHEL ALCAN.

Le procès-verbal de la séance du 20 août est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Mangeon et Blanc-Garin, membres sociétaires.

M. LE SECRÉTAIRE donne lecture d'une lettre de M. Chauveau des Roches écrite à l'occasion du procès-verbal de la séance du 6 août, et ajoutant quelques nouveaux renseignements à la communication faite par M. Nordling sur le chemin de fer de Vassy.

M. J. MORANDIERE présente à la Société, au nom de M. Bontemps, l'un de ses membres, deux exemplaires d'une notice sur les chemins de fer départementaux et d'intérêt local.

Le but de M. Bontemps est clairement indiqué par son introduction : « *réunir des exemples de voies ferrées construites et exploitées dans les diverses conditions d'importance connues jusqu'à ce jour, depuis les grandes lignes ordinaires jusqu'aux chemins industriels, et terminer par quelques considérations sur l'exploitation, tout emprunté, pour la majeure partie, à des ingénieurs d'une réputation et d'un mérite incontestés.* »

Dans le premier chapitre on trouve, sous forme de tableaux, les dépenses de construction, 1° de chemins ordinaires; 2° d'embranchements secondaires : Alsace, Vitré à Fougères; 3° Anvers à Gand, voie réduite; 4° chemins industriels établis par

la Compagnie du Nord; 5° chemin de Tavaux-Pontséricourt; 6° chemin de Mondaluzac; 7° chemin américain du Cours-la-Reine.

Le deuxième chapitre indique qu'il faut choisir le type de chemin à construire parmi les exemples ci-dessus, de manière à proportionner les dépenses de construction au revenu probable. L'exploitation doit être simplifiée, surtout par l'adoption d'un matériel à couloir de communication, de manière à faire la perception en route et remplacer les gares par un simple bureau de correspondance; d'où économie de construction de bâtiments et surtout économies d'exploitation. — Cette notice est accompagnée de quatre planches représentant des types de voie et de matériel roulant déjà existants et convenables pour des chemins secondaires.

M. J. Morandière donne ensuite communication d'une note envoyée à la Société en février dernier par M. Julien Grand fils, sur son procédé de coulage des tuyaux de plomb revêtus intérieurement d'étain.

Depuis longtemps la science a constaté et déclaré que l'usage des eaux, conduites dans des tuyaux en plomb, est la cause de nombreuses maladies; c'est quelquefois un prompt empoisonnement; c'est toujours un empoisonnement plus ou moins lent.

L'emploi de tuyaux revêtus intérieurement d'une couche d'étain parfaitement *soudée* avec le plomb, par le procédé nouveau, fait cesser toute crainte à cet égard, l'eau ne se trouvant en contact qu'avec l'étain, métal pur et inoxydable. Dans ces conditions, l'on fait usage d'eau pure, et non pas d'eau chargée de sels de plomb.

Mais pour arriver à la substitution radicale des tuyaux de plomb par ceux étamés à l'intérieur à des épaisseurs que l'on détermine à volonté, et même pour que les tuyaux plomb-étain fussent imposés par les Administrations dans un intérêt d'hygiène publique, il fallait concilier deux choses : la salubrité et l'économie, l'intérêt public.

Or, l'étain étant un métal très-cher par rapport au plomb, il semble de prime abord difficile de réunir ces deux conditions. Mais lorsqu'on s'est rendu compte qu'il suffit de 2 p. 100 d'étain dans les tuyaux de plomb pour offrir toute sécurité, et que, d'un autre côté, l'on sait qu'à volume égal, l'étain est presque moitié moins lourd que le plomb, tout en étant deux fois plus résistant, l'on arrive bientôt à reconnaître que les tuyaux un peu moins lourds plomb-étain sont aussi résistants (sinon plus) que les tuyaux en plomb, et que, dans ces conditions, ce n'est plus au poids précisément qu'il faut calculer, mais au mètre de longueur.

Ainsi, un tuyau en plomb-étain de $0^m.020$ de diamètre intérieur, de $0^m.029$ de diamètre extérieur, de $0^m.0045$ d'épaisseur de métal, étant donné 1/5 de millimètre à l'intérieur d'épaisseur d'étain, sera au moins aussi résistant qu'un tuyau en plomb de $0^m.030$ extérieur et de $0^m.005$ épaisseur : 100 kil. de ce dernier tuyau représentent 22 mètres de longueur qui, vendus à 50 fr. les 100 kil., donnent le chiffre de 50 fr.

86 kil. de plomb-étain représentent la même longueur du tuyau aussi résistant, qui, vendu 58 fr. les 100 kil., donne un chiffre moindre, 49 fr. 88 c. Par conséquent, il y aurait même économie.

Il ne reste donc qu'à bien établir que $0^m.0045$ plomb-étain présentent autant de résistance à la pression que $0^m.005$ plomb : c'est ce qui a été fait d'une façon irréfutable.

Ce que nous venons de dire pour les tuyaux servant de conduite à l'eau peut se dire pour les tuyaux qui servent de conduite au gaz à un autre point de vue, à celui

de la lumière plus pure. Les tuyaux plomb-étain ne s'encrasseront pas comme ceux en plomb, ne seront pas remplis par ce que les ouvriers des compagnies de gaz appellent des *toiles d'araignées* dans les tuyaux en plomb.

Le procédé que nous exposons s'appuie sur deux lois physiques : la *force centrifuge* et la *pesanteur*.

Les deux métaux en fusion sont coulés dans une lingotière horizontale à tourillons creux, de manière à permettre leur introduction dans le moule qui tourne avec une grande rapidité au moment où l'on y précipite le métal en fusion. Le plomb et l'étain sont fondus dans le même creuset à clapet ou robinet inférieur. Ce creuset porte à sa base un tube qui s'introduit dans le tourillon creux de la lingotière. Lorsque le métal est en fusion, on ouvre le clapet ; le plomb, le plus lourd des deux métaux, arrive le premier pour former la couche la plus épaisse, celle de l'extérieur, et la quantité d'étain, dont on veut la revêtir à l'intérieur, arrive en dernier lieu pour former la couche que l'on veut y mettre. Dès lors il y a soudage des deux métaux à l'état liquide. Le manchon plomb-étain ainsi obtenu est aussitôt démoulé pour être mis dans la presse, d'où il sort en tuyaux de la dimension que l'on a voulu obtenir par les dispositions du mandrin et des filières que l'on a placés dans la presse.

Dans le creuset commun où l'on fond le plomb et l'étain et pour mieux assurer la séparation du plomb et de l'étain, on fixe à la surface du plomb une grille ou trémie sur laquelle vient se fondre l'étain, ou bien encore le creuset est formé de deux creusets superposés à clapets inférieurs qui s'ouvrent en même temps, de telle sorte que le plomb se précipite toujours le premier, et que l'étain vienne former la seconde couche à l'intérieur du tube ou manchon.

L'ordre du jour appelle ensuite la communication de M. Contamin sur une grue à équilibre automatique.

M. Contamin, après avoir rappelé sommairement les recherches faites sur la question par MM. Lasseron et Legrand et décrit la grue dynamométrique, à équilibre constant, imaginée par ces ingénieurs en vue d'avoir un appareil de levage dans des conditions de stabilité indépendantes de la charge soulevée, aborde l'étude de l'appareil que la Société des hauts-fourneaux de Maubeuge a étudié pour résoudre le même problème.

Dans les grues roulantes en usage aujourd'hui, les ouvriers chargés de la manœuvre sont obligés, avant de commencer à élever les fardeaux, de déplacer le contre-poids et de l'amener, sur le chemin de roulement, à occuper une position déterminée par la condition d'avoir une stabilité indépendante de la grandeur du poids soulevé. Dans l'appareil qui fait l'objet de cette étude, le contre-poids vient se placer de lui-même dans la position qu'il doit occuper pour remplir cette condition.

Le chemin de roulement de la grue à équilibre constant n'est pas, à stabilité égale, plus long que celui des grues ordinaires ; il ne présente donc pas plus d'inconvénients dans les manœuvres. Il y a plus, il en présente moins ; car, étant parabolique, il se dégage mieux des objets qui l'entourent. Les formules établies plus loin démontrent ce fait ; cet appareil, sans être plus encombrant, présente donc une sécurité dans les manœuvres que ne présentent pas les autres appelés à rendre les mêmes services.

M. Contamin ne s'étant, dans cette étude, attaché qu'à la détermination de l'équation de la courbe qu'il faut donner au chemin de roulement pour obtenir une stabilité indépendante du poids de la charge soulevée, croit ne pas devoir insister davan-

tage sur les avantages mécaniques de cet appareil et expose la méthode qu'il a employée dans cette recherche.

Il admet que l'on s'impose la condition que constamment la résultante des forces extérieures qui agissent sur l'appareil passe par un même point, à une distance de l'essieu d'avant de la plate-forme déterminée par la condition d'avoir une stabilité donnée.

Il désigne par :

P le poids de tout l'appareil, moins le contre-poids ;

q celui de ce contre-poids ;

p le poids de la charge variable à élever ;

a la distance horizontale entre le centre de gravité du contre-poids et le point d'intersection du plan de la base avec la résultante des forces P et q, qui agissent sur l'appareil.

Il admet la courbe cherchée rapportée à deux axes de coordonnées : l'un horizontal et l'autre vertical, dont l'origine est au centre de gravité de la position initiale du contre-poids.

Enfin, il désigne par :

L et l les distances au plan vertical, passant par cette origine, des poids P et p, et admet que le cosinus de l'angle que la traction exercée sur le contre-poids par la chaîne fait avec l'horizon, a une valeur constante et indépendante de la position occupée par ce contre-poids. Cette hypothèse, qui simplifie beaucoup les calculs, est admissible, car les valeurs extrêmes de ce cosinus sont comprises entre 0.985 et 0.90 environ.

Ceci posé, pour obtenir la stabilité que le choix du point de passage de la résultante des forces extérieures P et q qui agissent sur l'appareil donne, il faut au contre-poids une valeur

$$q = \frac{P(L - a)}{a}.$$

Pour que la résultante des forces P, q et du poids soulevé p, passe, elle aussi, par le même point, il faut que le contre-poids s'éloigne de l'origine d'une quantité x égale à

$$x = \frac{p(l - a)}{q},$$

et ceci, quelle que soit la forme donnée au chemin de roulement.

La composante horizontale de la traction exercée sur le contre-poids étant supposée avoir une valeur constante (cT), pour que le contre-poids s'arrête à cette distance (x), il faut qu'en cette position la tangente à la courbe cherchée ait pour valeur

$$\frac{dy}{dx} = \frac{cT}{q},$$

si l'on néglige la résistance au roulement du contre-poids sur la queue de l'appareil.

Mais T peut être considéré comme une fraction constante $\left(\frac{1}{k}\right)$ du poids élevé ; l'équation de la courbe que le chemin de roulement doit affecter est donc :

$$y = \frac{c}{2k(l - a)} x^2.$$

Cette équation donne des courbes qui ne diffèrent que très-peu de celles adoptées dans la pratique ; c'est pourquoi M. Contamin croit pouvoir la proposer pour résoudre le problème que les grues dites à équilibre constant ont pour but de résoudre.

M. Armengaud jeune fils demande à M. Contamin si l'appareil qu'il vient de décrire n'a pas été étudié et imaginé par M. Jambille.

M. Contamin répond que c'est effectivement M. Jambille qui, en étudiant son projet de concours à l'École centrale, a conçu les dispositions principales de cette grue. Les ingénieurs de la Société des hauts-fourneaux de Maubeuge n'ont eu qu'à développer et perfectionner quelques questions de détails.

M. Maldant a examiné avec beaucoup d'intérêt, à la dernière Exposition universelle, la grue de Maubeuge, dont un des organes essentiels vient de faire l'objet de la communication de M. Contamin. Il considère les calculs présentés par notre collègue comme d'autant plus intéressants qu'ils semblent résoudre, par une formule simple, un problème réellement compliqué.

M. Maldant croit que certains éléments importants auraient pu trouver place dans le calcul : comme la torsion des chaînes, leur frottement et celui des axes des poulies, etc., mais c'eût été au détriment de la simplicité du calcul. Aussi M. Maldant désirerait-il savoir, de M. Contamin, si les courbes que lui indiquent ses calculs sont sensiblement de même forme que celles qui ont été adoptées pour les grues construites à Maubeuge, et qui ont été déterminées *expérimentalement?*

M. Maldant ajoute qu'il était d'autant plus utile de constater que la courbe donnée mathématiquement se rapproche de celle de la grue qui était à l'Exposition universelle, que le mode d'expérience qui lui a été indiqué comme ayant servi à déterminer cette dernière courbe lui semble irréprochable.

M. Maldant explique qu'en plaçant chacun des essieux du chariot de la grue sur un *pont-bascule* isolé, déterminant, pour chaque moment, le poids total portant sur chaque essieu, on en déduit aisément et sûrement la position que doit occuper le contre-poids dans les différents cas. La méthode de calcul indiquée par M. Contamin, si elle peut être considérée comme sensiblement exacte, aurait évidemment sur toutes les méthodes expérimentales l'avantage de la simplicité et de l'économie.

M. Contamin dit qu'effectivement ces deux courbes sont identiques, ce sont des arcs de parabole.

M. Brüll demande si le contre-poids, calculé comme il vient d'être expliqué, n'est pas beaucoup plus lourd que celui qui serait nécessaire à la seule stabilité de la grue. Le crochet de la grue étant soutenu par deux brins de chaîne verticaux, chacun d'eux supporte une tension égale à la moitié de la charge soulevée. Or, c'est justement l'un de ces brins qui, après s'être infléchi sur des poulies simples, viendrait tirer le contre-poids sur son chemin de roulement. Il en résulte donc que l'effet de traction sur ce chariot roulant est à peu près égal à la moitié de la charge enlevée par l'appareil. Et comme il a été dit que les parties les plus inclinées de la parabole ne présentaient encore qu'une faible pente, l'effort de traction n'est qu'une fraction assez faible du poids même du chariot, même en tenant compte du frottement ; ou, autrement dit, ce poids devra être un multiple assez considérable de l'effort de traction, c'est-à-dire de la moitié de la charge suspendue au crochet.

Ainsi pour enlever 10 tonnes, on serait conduit à un contre-poids pesant au moins

trois ou quatre fois la moitié de 10 tonnes, soit 15 à 20 tonnes, inconvénient fort sérieux pour un appareil transportable.

Il semble que cette difficulté pourrait être écartée en substituant à la poulie simple sur laquelle s'enroule la chaîne qui tire le contre-poids, un treuil ou tout autre appareil de transmission disposé de façon que l'effort de traction ne fût plus égal à la tension du brin qui va au crochet de la grue, mais qu'il fût trois ou quatre fois plus grand.

Autrement la masse du contre-poids sera excessive, ou bien il sera de suite attiré à l'extrémité du chemin de roulement, dès qu'on voudra soulever une charge un peu forte, et viendra buter contre la poulie placée en tête de la parabole, sans pouvoir faire équilibre à la moitié de la charge enlevée, quand même le dernier élément de la courbe serait entièrement vertical.

M. DE BRUIGNAC, cherchant à préciser la discussion, désire remarquer d'abord que les objections qui sont faites en ce moment ne s'adressent pas au calcul de M. Contamin, qui paraît fort juste. Par une pente assez naturelle, on en est venu à examiner en lui-même le système de grues dont l'étude de M. Contamin avait pour seul but d'indiquer la construction rationnelle.

Voici comment l'objection semble pouvoir se résumer. Étant donnée une grue construite d'après le principe qu'indique M. Contamin, on peut supposer le contre-poids placé dans deux conditions diverses ; ou bien indépendant du fardeau, ou bien relié au fardeau dont il commande l'ascension. C'est cette seconde hypothèse qui base l'étude de M. Contamin. Examinons les deux cas.

Soit d'abord le contre-poids mû indépendamment du fardeau. Toute grue, a par elle-même, une certaine stabilité, qui dispense d'employer toujours le contre-poids ; le poids de celui-ci ne sera donc qu'une fraction, souvent assez faible, du poids du fardeau, si l'on suppose que le bras de levier extrême du contre-poids est égal la portée de la grue. Soit, par exemple, une grue portant normalement 5 tonnes; en général, on ne fera pas usage du contre-poids au-dessous de cette charge. Si le poids maximum que la grue doit soulever est 7 tonnes, le maximum du contre-poids sera 2 tonnes.

Considérons maintenant, dans la même grue, le contre-poids relié au fardeau, comme il a été dit. Négligeons les frottements, et supposons aussi que le contre-poids pende verticalement à sa poulie. Pour soulever 7 tonnes, le contre-poids devra peser 3t.5, par suite du double brin agissant sur le fardeau. S'il n'y avait qu'un brin, il devrait peser 7 tonnes.

Pratiquement, c'est un contre-poids bien plus lourd qu'il faudra, car le contre-poids, loin d'être vertical, se déplace sur un chemin parabolique qui, même dans sa plus forte inclinaison, semble plus rapproché de l'horizontale que de la verticale.

Par conséquent, lorsque le contre-poids est relié au fardeau pour le soulever, il paraît devoir être beaucoup plus grand que s'il en était indépendant. N'est-ce pas un inconvénient notable en pratique, surtout pour une grue roulante?

M. CONTAMIN fait remarquer que l'augmentation d'un contre-poids en fonte a peu l'influence sur le prix total de la grue.

M. MALDANT partage l'opinion qui a été émise, que l'élévation du contre-poids ne constituera pas un travail assez important ajouté au travail ordinaire de la grue,

pour être un obstacle sérieux à l'emploi de ce système spécial. Il croit que l'inconvénient réel d'avoir un contre-poids plus lourd que dans les grues roulantes ordinaires, est en partie compensé par la moindre longueur du chemin à parcourir par ce contre-poids.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Contamin de son intéressante communication, dont il pense que tout le monde fera son profit, ainsi que de la discussion qui a suivi.

NOTE

SUR LE TRANSPORT SOUTERRAIN

DES

JUS SUCRÉS DE BETTERAVES

(SYSTÈME BREVETÉ DE M. J. LINARD, INGÉNIEUR)

PAR M. EDM. MAURE.

Considérations générales sur l'industrie de la betterave.

L'industrie du sucre de betteraves a pris, dans ces dernières années, en France, un développement considérable. Elle produit actuellement par année 250 millions de kilogrammes de sucre, occupe environ 160,000 hectares de terre, donne du travail à 200,000 individus; enfin, elle est la base d'un impôt qui rapporte annuellement 100 millions au Trésor. La quantité de houille nécessaire pour les opérations du sucre brut dépasse 500,000 tonnes. Ces chiffres donnent une idée de l'importance de cette industrie, qu'il faut voir doubler avant dix années. Elle ne s'adresse pas seulement aux besoins de la consommation du sucre; mais elle correspond en même temps à une nécessité de l'agriculture, qui trouve dans la production de la betterave la nourriture des animaux de ferme et, subsidiairement, des engrais; de la culture de la plante à sucre résulte l'amélioration des terres par les sarclages et l'approfondissement du sol.

Nous ferons remarquer que la betterave est à peu près la seule plante qui utilise la profondeur du sol, tandis que presque toutes les autres cultures n'utilisent que la surface. La sucrerie indigène est essentiellement une industrie agricole, et nous pensons qu'elle sera un moyen certain et rapide pour ramener dans la campagne, où elle fait défaut, la population ouvrière, détournée au profit des grands centres.

Cette industrie a reçu de nombreux perfectionnements dans son outillage ou dans son mode d'exploitation. Un des plus importants dans ses conséquences est le transport souterrain des jus sucrés extraits de la betterave.

Il a été inventé et appliqué pour la première fois par notre collègue

et ami M. J. Linard, ancien ingénieur de la maison de construction J.-F. Cail et C^ie^.

M. Linard exploite plusieurs sucreries importantes dans trois départements. Il a dirigé toutes les études de son système; les considérations qui suivent sont le résultat de ses observations, et les conséquences de l'application de son procédé ont été conformes à ses prévisions.

Nécessité d'exploiter de grandes usines.

La fabrication du sucre de betteraves a traversé une période de prospérité, et cela par trois causes : 1° parce que la denrée produite, le *sucre*, était chère; 2° la matière première, la *betterave*, était d'un prix peu élevé; 3° la houille était relativement à bas prix, parce que les fabriques étaient à peu près concentrées dans le département du Nord.

Mais les nécessités de l'agriculture ayant provoqué la création d'usines dans les départements loin des canaux et des chemins de fer, la houille est revenue à un prix plus élevé; la production ayant augmenté dans le monde entier plus rapidement que la consommation, a amené une baisse dans le prix du sucre; puis l'élévation graduelle de la main-d'œuvre, enfin le surenchérissement de la betterave, toutes ces causes ont réduit le bénéfice des fabricants. Il a donc fallu étudier le moyen de réduire les frais de fabrication.

C'est en augmentant l'importance des usines que l'on peut arriver à ce résultat, qui se traduit par la diminution des frais généraux, lesquels sont considérables dans cette industrie et peu variables avec l'importance des fabriques; on diminue aussi relativement leurs frais de premier établissement; c'est d'ailleurs une considération générale qui s'applique à toutes les industries.

Importance des usines anciennes et nouvelles.

Cette nécessité a été tellement reconnue par les industriels, qu'elle s'est manifestée dans ces dernières années par la création d'usines pouvant travailler de 20 à 30 millions de kilogrammes de betteraves, c'est-à-dire produisant de 1 million à 1,500,000 kilogrammes de sucre, tandis qu'il y a une dizaine d'années, la plupart produisaient 500,000 kilogrammes de sucre, soit un travail de 6 à 10 millions de kilogrammes de betteraves.

Les avantages qui résultent de la création de grandes usines sont assez manifestes pour ne pas avoir besoin d'une démonstration très-longue.

En effet, les petites usines coûtent de 350,000 à 400,000 francs, soit environ 40,000 francs pour 1,000,000 de kilogrammes de betteraves travaillées.

Les grandes usines de 30 millions de kilogrammes coûtent 850,000 à 900,000 francs, soit 30,000 francs pour 1,000,000 de kilogrammes.

Nous démontrerons plus loin qu'en créant des usines pouvant travailler 100 à 150 millions de kilogrammes, on peut réduire leur prix d'établissement à 20,000 francs par million de kilogrammes et même au-dessous.

Les frais de fabrication ramenés aux 1,000 kilogrammes de matière brute travaillée seront donc chargés d'un intérêt et d'un amortissement presque double dans la petite usine que dans la grande. Beaucoup d'autres frais seront dans le même cas.

Choix de leur emplacement avant le perfectionnement moderne.

Mais pour obtenir des approvisionnements aussi considérables, il a fallu d'abord placer la fabrique en plein centre de culture et souvent loin des moyens de transport, canaux ou chemins de fer, et enfin il a fallu étendre son rayon d'approvisionnements à de grandes distances; car des quantités aussi considérables de racines nécessitent la mise en culture de 12 à 15,000 hectares concourant à l'alimentation de la fabrique.

Distance convenable de transport.

On arrive donc quelquefois à faire voyager la betterave à des distances de 10 à 15 kilomètres et même au delà.

Dans ces conditions, les transports deviennent trop onéreux pour les producteurs, car les frais de charroi absorbent une grande partie de la valeur vénale de la betterave, et ils préfèrent abandonner la culture de cette plante.

Transports considérables.

Pour que l'agriculteur trouve avantage à la betterave, il faut que le centre de ses terres ne soit pas à plus de 3 kilomètres de l'usine où il doit livrer, afin de pouvoir faire faire à ses attelages au moins quatre voyages par jour.

Lieux de dépôts, avec bascules.

En présence de cette nécessité d'augmenter son rayon d'approvisionnements et de l'impossibilité pour le producteur de faire des tranports onéreux, on a imaginé de créer des centres de réception pourvus de ponts à bascules; alors la betterave est déchargée et ensilotée dans un champ appartenant à la fabrique à 4, 5 et même 10 kilomètres de l'usine, et le fabricant opère ses transports lui-même à mesure de ses besoins. Mais le prix de la betterave est augmenté souvent de 3 et même 6 fr. les

1,000 kilogrammes pour une valeur d'achat de 18 à 19 fr. en moyenne. C'est donc un moyen dont les résultats économiques sont disproportionnés.

Ce système, qui a eu pour conséquence de développer la culture en évitant des transports au producteur, est très-onéreux pour l'usine et présente d'ailleurs de nombreux inconvénients, en ce que la plante saccharifère, remaniée à deux reprises, subit un déchet réel. D'ailleurs, ces transports, se faisant toujours pendant la mauvaise saison, amènent une prompte destruction des chemins et souvent ils deviennent tout à fait impossibles.

Locomotives routières.

Plusieurs fabricants ont essayé d'effectuer leurs transports au moyen de locomotives routières, avec des wagons spéciaux; mais ces machines étaient de construction très-défectueuse, les pièces n'ont pas résisté au travail qu'on leur demandait, et enfin, leur effet utile, au point de vue économique, a été presque nul.

Il faut bien remarquer que les transports de la betterave se font pendant les quatre mois de l'hiver, d'octobre à fin janvier, dans des conditions très-fâcheuses sous le rapport de l'état des routes. Il est difficile, en effet, de se faire une idée de l'état de ruine dans lequel sont les routes et chemins aboutissant à une fabrique de sucre, surtout les chemins vicinaux.

La locomotive routière a déjà rendu des services à l'industrie, mais il est regrettable que celle du sucre, dans laquelle les transports sont si considérables, ne puisse pas utiliser ce système de traction, à cause des conditions atmosphériques dans lesquelles il est forcément appliqué car les roues ont une adhérence très-faible sur les chemins humides; aussi, pour l'obtenir a-t-on dû armer les bandages des roues de traverses ou crampons qui détruisent rapidement le macadam.

Enfin, il est incontestable que les ingénieurs et conducteurs des ponts et chaussées et de la voirie leur sont opposés, à cause des dégâts énormes qu'elles occasionnent, et, en tous cas, ils ont formellement interdit d'armer les bandages des roues motrices de crampons, sans le secours desquels l'adhérence, et par conséquent la puissance de traction des machines, est notablement réduite.

Cependant, les usines qui les possèdent font avec un avantage certain leurs transports de charbons, de pierres à chaux dans la belle saison, parce que les routes sont dures et sèches : alors le roulage s'opère aussi bien; mais en hiver, par les mauvais temps et sur les chemins vicinaux, leur emploi est peu avantageux, les frais d'entretien des routes rendant les transports non moins chers qu'avec des animaux, sans présenter la sécurité et la régularité de ceux-ci.

La pulpe; son retour à la ferme

Il y a encore un point difficultueux qu'il faut signaler dans le système d'approvisionnements de betteraves à grandes distances et dans le cas particulier de lieux de réception intermédiaires, c'est la restitution de la pulpe ou résidu ligneux duquel on a extrait le jus sucré.

Cette pulpe a une si grande valeur pour l'agriculture qu'on peut dire que la betterave n'est cultivée qu'en vue du retour de la pulpe de la sucrerie à la ferme. Eh bien, cette restitution ne se fait pas facilement à grande distance, et d'ailleurs le transport en est aussi assez onéreux.

La pulpe est une matière délicate qui demande à ne pas être maltraitée et qui s'altère rapidement au contact de l'air. Au lieu dit *la Bascule*, les chariots de l'usine doivent la décharger et ceux des producteurs la reprendre; c'est un grave inconvénient. La pulpe est fort dépréciée dans cette manutention, surtout s'il pleut ou s'il gèle, car le plus souvent elle est basculée directement sur le sol naturel.

Chemins de fer à voies étroites.

On a aussi construit des chemins de fer à voies étroites dans lesquels la traction est faite par des locomotives; mais ce système, dont une seule application est à notre connaissance, ne paraît pas avoir été imité.

Transports par les grandes lignes ferrées.

On a également utilisé les grandes lignes de chemins de fer pour alimenter de betteraves les fabriques de sucre; mais ce moyen nécessite souvent plusieurs transbordements des racines. Cette manutention leur est fort nuisible; d'ailleurs, c'est une matière sale et encombrante qui, nous le savons positivement, est très-désagréable aux Compagnies. La difficulté de donner les wagons en temps opportun, et réciproquement l'inexactitude de la part des planteurs à prendre livraison dans les gares des pulpes réexpédiées est telle, que c'est un trafic que les chemins de fer verront disparaître avec plaisir.

Transport par câble sans fin.

Il a été récemment question de l'application au transport des matières à grandes distances d'un système de câble sans fin, se mouvant sur des galets portés eux-mêmes sur des poteaux espacés de 50 en 50 mètres. Le câble est mis en mouvement par une machine à vapeur fixe, et de petites bennes, portant 50 kilogrammes utiles, reposent par une chape

sur le câble et sont ainsi remorquées. On place les poteaux sur l'accotement des routes et à travers les propriétés privées. On peut également donner au câble une certaine pente ; mais on sera, en tous cas, toujours assez limité sous ce rapport, puisque la benne n'est sollicitée au mouvement que par son adhérence sur le câble. Au delà d'un certain angle, il pourra donc y avoir glissement.

Nous n'avons pas de données économiques sur ce système, dont nous n'avons vu qu'un exemple en Angleterre pour le transport de pierres et de pavés.

Nous attendrons qu'il ait été consacré par de plus nombreuses applications, et plusieurs doivent être faites cette campagne.

La dépense de premier établissement paraît s'élever de 8 à 10,000 fr par kilomètre, moteur compris, d'après les renseignements qui nous ont été fournis.

Nous nous sommes borné à exposer les différents moyens de transport employés pour approvisionner de betteraves les fabriques de sucre, sans vouloir faire un examen approfondi de leurs avantages et de leurs inconvénients.

Nous arrivons à la description du système qui fait l'objet de la présente note, c'est-à-dire du transport souterrain des jus sucrés, dont nous démontrerons toute la supériorité en faisant ressortir les avantages particuliers qu'il comporte, à l'exclusion de tous les autres modes de transport.

Nous n'élèverons cependant pas la prétention qu'il soit le seul mode d'approvisionnement des fabriques de sucre; car il devra toujours être motivé par la réunion d'un nombre de marchés suffisants pour justifier la dépense qu'il nécessite.

Râperies. Leur position.

A des distances variables de 4 à 10 kilomètres de l'usine centrale où se fabrique le sucre proprement dit, on installe des ateliers spéciaux pour le râpage et l'extraction des jus de la betterave que nous appelons *Râperies*.

La position de ces ateliers sera naturellement commandée par la production de la betterave, et ils seront construits dans une pièce de terre le plus possible au centre de la culture et des chemins qui la desservent. Ils comprennent l'outillage d'extraction du jus, c'est-à-dire la râpe, presses hydrauliques, etc., le tout mis en mouvement par une machine à vapeur et son générateur ou une locomobile.

Chaulage du jus. Son inaltérabilité.

Au sortir des presses hydrauliques, le jus sucré est reçu dans des bacs en tôle qui servent de jauge, et dans lesquels on ajoute une pro-

portion de chaux suffisante pour prévenir toute altération, ce qui permet aux jus sucrés de voyager dans les tuyaux sans danger de fermentation.

Cette solution était indispensable pour l'application du système; elle a été controversée dans l'origine, mais elle ne donne pas lieu au moindre doute à la suite des expériences répétées depuis plusieurs années. Du reste, les expériences faites dans le laboratoire et industriellement ont suffisamment démontré que par le procédé du chimiste Maumené, les jus peuvent être conservés plusieurs mois et même plusieurs années, et le cas actuel n'en est qu'une application restreinte. Les jus conservent donc toute leur qualité dans leur passage dans la conduite.

On ajoute dans le jus 1 pour 100 de son poids de chaux réelle. Dans cette proportion, la chaux est totalement dissoute par le jus sucré ayant au moins 3 degrés de densité, et il n'y a à craindre ni altération du jus, ni dépôts calcaires dans les conduits.

Bacs-jauge au départ et à l'arrivée.

Le jus chaulé est aspiré par une pompe à plongeur et refoulé dans la conduite en fonte qui, partant de la râperie, est enterrée à 80 centimètres de profondeur, pour être préservée des gelées, dans l'accotement des chemins jusqu'à l'usine centrale, où elle déverse dans des bacs-réservoirs servant à contrôler la quantité de liquide arrivée à l'usine, et la comparer avec celle mesurée au départ de la râperie.

Il est probable que l'on arrivera à appliquer à cet usage un système de compteur automoteur, comme ceux qui sont proposés pour les distributions d'eau.

Conduite en fonte. Moulage mécanique.

Les tuyaux sont en fonte de première fusion et de diamètres variables de 65 à 120 millimètres, suivant la quantité de jus à débiter, et surtout suivant le profil et la longueur du chemin à parcourir.

Les tuyaux sont moulés mécaniquement et coulés debout, afin d'avoir la plus grande régularité dans l'épaisseur.

Il est intéressant que la conduite soit en fonte très-serrée, bien exempte de soufflures. Du reste, l'extension prise depuis plusieurs années dans les distributions d'eau pour les villes, a donné à la fabrication des tuyaux en fonte un grand essor et a provoqué de grandes améliorations.

Nous avons eu dernièrement l'occasion de visiter une usine très-importante, qui a apporté dans cette fabrication de grands perfectionnements. Le moulage mécanique y est appliqué avec succès aux tuyaux de tous diamètres, et cette usine livre ses produits à des prix très-réduits. Les tuyaux ont 3 mètres de longueur, et sont essayés à quinze atmosphères avant leur départ de l'usine.

Joints à emboîtement et au plomb.

Les joints des tuyaux sont à emboîtement et faits avec le plus grand soin en corde goudronnée au-dessus de laquelle on coule du plomb, qui est ensuite refoulé avec un mattoir.

On essaye la conduite avec de l'eau avant de la recouvrir, et, lorsque le travail a été fait par de bons ouvriers, on trouve à peine quelques joints qui suintent. On les remâtte de nouveau, et l'on peut être assuré qu'ils dureront un grand nombre d'années sans perdre.

Valeur du jus. Nécessité d'être sûr des joints.

On comprendra facilement l'importance d'avoir une conduite en très-bonne fonte, et des joints parfaitement étanches, lorsqu'on saura que le liquide qui y est refoulé a une valeur moyenne de 26 fr. les mille litres, et que la conduite peut en débiter de 80,000 à 160,000 par vingt-quatre heures. Il est donc indispensable d'avoir toute sécurité contre les pertes de jus; celles que pourraient donner les joints ou la fonte, lorsque la pression est trop forte dans les tuyaux, seront toujours assez insignifiantes, et apparaîtront au bout de peu d'heures à la surface de la route, et on pourra, soit par les cantonniers des routes, soit par un surveillant spécial, être prévenu à l'usine bien avant que la perte ait atteint la moindre importance.

Quant aux ruptures de tuyaux, elles sont peu à craindre en raison de la faible vitesse du jus qui n'est guère, jusqu'à présent, dans les conduites établies que de 30 centimètres par seconde.

Robinets d'air.

On ménage des robinets aux points les plus élevés de la conduite, pour purger l'air et éviter les coups de bélier qui seraient à craindre après un arrêt prolongé. L'engorgement dans les parties basses de la conduite par les matières tenues en suspension dans le jus qui pouvait, *à priori*, être redouté, ce qui eût été un grave inconvénient, a été complétement évité en ménageant au réservoir d'air placé à la sortie de la pompe de refoulement un vase de sûreté dans lequel le courant interrompu dépose les matières en suspension, et notamment du sable ou de la terre. D'ailleurs, le jus avant son entrée dans la conduite est épuré par une filtration sur de la paille hachée qui retient toute la pulpe de la betterave; il passe en outre par un tamiseur métallique avant d'arriver dans la pompe.

Il n'y a ni engorgements ni dépôts calcaires.

Quant à un dépôt calcaire, on n'en pas constaté après trois expé-

riences, de plusieurs mois chacune, et la vérification faite en démontant plusieurs tuyaux, en différents points du parcours, a démontré que la surface intérieure était, pour ainsi dire, plutôt décapée que recouverte d'un enduit quelconque, organique ou calcaire.

Nous avons dit plus haut qu'il fallait faire une addition de chaux dans le jus pour le préserver de l'altération pendant le parcours. En effet, chaque fabrique de sucre possède un grand four à chaux continu, duquel on extrait à la partie supérieure, au moyen d'une soufflerie, le gaz acide carbonique dégagé par la cuisson de la pierre calcaire, et on recueille, à la partie inférieure, la chaux produite qui sert ainsi que le gaz carbonique au travail de purification des jus, connu sous le nom de carbonatation.

Contrôle de la chaux additionnée. Défécation lente, à froid, dans la conduite.

La quantité qui est nécessaire dans une râperie sera envoyée, soit chaque jour, soit tous les deux ou trois jours, de l'usine centrale, et le fabricant devra ainsi se rendre compte que cette chaux est employée dans le jus.

Le jus qui a parcouru ainsi une conduite de dix kilomètres, comme il y en a déjà des exemples, arrive à la fabrique non-seulement parfaitement exempt d'altération, mais il est même dans un état de demi-épuration qui est due à une action prolongée de la chaux, action qui a été pratiquée comme système spécial dans l'industrie du sucre sous le nom de *défécation à froid*. Il a été, du reste, constaté que le jus qui a voyagé dans les tuyaux est d'un travail beaucoup plus facile que celui extrait dans la fabrique même.

Le procédé de fabrication de M. Maumené consistait à produire le jus et à le conserver dans des vases plusieurs jours avant de le travailler. La difficulté de ce procédé était justement la quantité de vases qu'il nécessitait, mais incontestablement le procédé de fabrication était bon et le jus meilleur à travailler que celui qui est produit récemment. Or, le tuyau de 6 à 10 kil. qui sépare une râperie de la fabrique de sucre, remplit le même rôle que les vases en question. Il n'y a donc rien d'extraordinaire à ce que les jus des râperies soient mieux épurés que ceux des fabriques; sans prétendre que leur rendement en sucre soit supérieur, nous dirons certainement que leur travail est plus facile.

Nous avons omis de dire que l'usine centrale est munie d'une citerne en maçonnerie ou en tôle, destinée à recevoir le jus lorsque, pour une cause quelconque, le travail dans l'usine centrale se trouve momentanément arrêté ou réduit. On évite ainsi d'arrêter le travail des râperies, ce qui est très-important, puisqu'il y a toujours avantage à hâter le râpage de la betterave, qui s'altère vite à l'état de racine, tandis que le jus chaulé se conserve parfaitement.

Conditions générales des nouvelles fabriques centrales.

Après avoir décrit le système dans son ensemble, il est à propos de donner un aperçu des dépenses qu'il nécessite, des frais auxquels donne lieu son exploitation, et, comme conséquence, de décrire les avantages qu'en doivent retirer les fabriques de sucre en comparaison avec les différents systèmes pratiqués à ce jour.

Nous avons dit plus haut que les fabriques qui veulent travailler 30 millions de kilogrammes de betteraves, doivent s'approvisionner dans un rayon qui dépasse la limite de la pratique en fait de transport par le producteur ou même par le fabricant.

Aujourd'hui que toutes les conditions économiques de fabrication se modifient au détriment du fabricant, c'est-à-dire augmentation du prix de la betterave et amoindrissement de sa qualité, élévation du prix de la main-d'œuvre et abaissement probable du prix du sucre, l'industrie sucrière, avons-nous dit, doit chercher l'abaissement de son prix de revient dans la création d'usines pouvant travailler 100 et 150 millions de kilogrammes de betteraves, et le problème se présente ainsi :

Placer les grandes usines centrales directement près des gares de chemins de fer ou sur les canaux ou voies navigables, de manière à n'avoir plus de transport à faire pour la houille et le sucre, et, en général, tous les produits accessoires qui entrent à l'usine ou en sortent, et disséminer dans l'intérieur des terres un certain nombre de râperies, dont les conduites convergeront vers l'usine centrale.

Les râperies. Leur distance à l'usine.

Ces râperies s'exécutent à des distances variables, mais leur point rationnel est celui qui correspond à peu près à une distance de la grande fabrique double de celle que peut parcourir utilement un attelage au moins quatre fois par jour, aller et retour, soit donc à peu près à 6 kilomètres. Mais on conçoit que si aux environs de la grande usine se trouve une zone de terre stérile, une râperie peut être reculée à une distance plus grande ou même, suivant certaines convenances, comme les mauvais chemins ou la convergence de plusieurs routes, un champ plus vaste à exploiter, les concurrences à éviter, on peut l'établir beaucoup plus rapprochée ou beaucoup plus éloignée. Nous en citerons plus loin quelques cas.

Les râperies ont deux éléments de prix de revient, l'atelier d'extraction proprement dit et la conduite.

Prix d'établissement. Matériel des râperies et usines centrales.

Remarquons que, dans un atelier d'extraction, la plus grande partie

du matériel eût été établie à l'usine centrale, ce sont les presses hydrauliques, la râpe, les pompes d'injection.

Quant au reste, c'est-à-dire les bâtiments, le moteur, le laveur, leur établissement propre dans les râperies permet de faire ceux de l'usine centrale moins importants. Il y a donc une faible augmentation dans la dépense en matériel.

Cette considération démontre seulement que les machines et appareils d'une grande usine centrale, avec ses râperies, destinée à travailler 100 millions de kilogrammes, par exemple, coûteraient un peu moins cher si toutes les betteraves étaient, par un moyen quelconque, amenées à l'usine et fabriquées sur place, que si on a recours au procédé des râperies annexes. Mais, en tous cas, il reste toujours la question d'impossibilité de concentrer par voiture ou même chemin de fer, ou tout autre moyen, une pareille quantité, et on verra d'ailleurs plus loin que le point de vue des frais de fabrication tranche complétement la question en faveur du système des râperies avec conduite.

Coût de la râperie.

L'atelier, en y comprenant le terrain, les bâtiments et le matériel, pourra coûter 70,000 fr. environ, pour un travail de 8 à 10 millions de kilos de betteraves; il coûtera à peine 10 à 12,000 fr. de plus pour travailler 15 à 16 millions de kilos de betteraves. A quoi il faut ajouter la conduite posée.

Prix de la conduite en fonte.

La conduite, d'un diamètre moyen de 10 centimètres, coûtera, en y ajoutant les frais de terrassement, transport, joints en plomb, etc., de 5,500 fr. à 7,000 fr. le kilomètre, d'après des installations faites.

Une râperie, à 6 kilomètres de distance, coûtera donc environ 120,000^{fr} et pourra travailler 16 millions de kilogrammes de betteraves.

Prix du transport de 1000 kilogrammes de betteraves, avec l'extraction du jus dans les râperies.

Examinons à quel prix reviendra la tonne de betteraves rendue à l'usine, lorsque le jus sera extrait dans les râperies.

L'extraction, proprement dite, du jus, ne coûtera pas sensiblement plus cher dans les râperies que dans l'usine centrale, puisque l'importance du matériel et le nombre d'ouvriers sont à peu près proportionnels à la quantité de travail exécuté. Il n'y a lieu, en réalité, que de tenir compte de l'addition de quelques dépenses supplémentaires en bâtiments, machines, et, par conséquent, de frapper le prix de revient des

1,000 litres de jus, de quelques frais additionnels pour main-d'œuvre, surveillance, combustible.

D'après les comptes faits dans deux exercices précédents, il a été démontré que ces frais s'élèvent à 1f,50 les 1000 kilos, ou pour 1000 litres de jus. Nous avons cité, avec intention, les frais supplémentaires de combustible des râperies, parce qu'en effet, dans les fabriques de sucre, la vapeur perdue des machines est utilisée pour l'évaporation des jus dans des appareils dans le vide, et à triple effet. Naturellement, la vapeur de la machine de la râperie ne pourra être utilisée dans ce but.

Condenseur par surface.

Pour obvier en grande partie à l'augmentation, d'ailleurs très-faible, du combustible, on a adapté à l'échappement des machines un condenseur par surface, qui fournit de l'eau distillée pour les générateurs tubulaires.

Force nécessaire pour le transport du jus.

Mais considérons que le transport proprement dit du jus ne coûte pour ainsi dire absolument rien, car étant réduit au plus à deux litres par seconde et, en admettant que les conduites de diamètre convenable, aient à franchir des montagnes de 50 et même 100 mètres de hauteur, ce qui sera d'ailleurs assez exeeptionnel, on aura besoin au maximum de quatre ou cinq chevaux, et, dans la plupart des cas, la puissance nécessaire sera inférieure à un cheval, alors que les charrois ordinaires exigent un nombre considérable d'animaux, et coûtent à la distance de 6 kilomètres environ, 3 fr. les 1000 kilos et même 4f,50, en tenant compte des tares et du retour de la pulpe. On voit donc que les 1,000 litres de jus ou les 1,000 kilos de betteraves (ce qui est sensiblement la même unité), reviendront environ à 3 fr. moins cher, rendus à l'usine par une conduite de 6 kilomètres, que par voiture à distance égale.

Engagements pour les râperies à des prix moins élevés.

C'est ici que prend naturellement place une considération fondamentale sur l'approvisonnement des fabriques, c'est qu'à une distance de 6 kilomètres les cultivateurs ne prendraient aucun engagement de faire de la betterave pour l'usine, même à des prix élevés de 21 et 22 fr.; et que pour livrer à une râperie, les producteurs s'engagent pour 10 et 15 années aux prix de 18 et 19 fr. parce qu'ils n'ont plus de transports, et qu'ils ont la pulpe, pour ainsi dire, dans leur ferme. Il n'y a pas seulement là pour l'usine une question de 2 ou 3 francs de différence aux 1,000 kilos, il y a une question d'avoir ou de ne pas avoir de la betterave, c'est-à-dire d'être ou de ne pas être approvisionnée.

Influence nulle du profil vertical et du tracé horizontal des chemins.

Il est presque superflu de faire remarquer que les accidents de terrain les plus variés entre la râperie et la fabrique sont d'un intérêt très-secondaire dans la question, contrairement à ce qui a lieu dans les systèmes de transports par voitures ordinaires, machines routières, chemins de fer et câbles transporteurs, dans lesquels la communication entre les deux centres serait difficile à réaliser et même impossible dans certains cas.

Avec la conduite, le jus franchira les montagnes de 100 mètres d'élévation, avec les courbes les plus petites, en suivant les chemins les plus abrupts, sa fluidité le dégageant des obligations qu'impose la betterave à l'état solide.

Ce système est le seul dans lequel on n'a plus à craindre la gelée qui atteint fréquemment les betteraves ou la pulpe qui, chargées d'avance dans les chariots, wagons ou autres véhicules, passent la nuit en plein air et sont détériorées sous les influences atmosphériques, pendant la période de leurs transports.

Mais il y a encore beaucoup d'autres avantages, que nous signalerons sans les chiffrer d'une manière exacte : c'est d'abord une économie considérable dans l'entretien des routes et chemins.

Suppression des subventions industrielles.

Il existe dans les règlements sur la voirie vicinale une condition qui met à la charge du fabricant de sucre les dégâts qu'occasionne aux chemins le transport, même par le producteur, des betteraves qui alimentent l'usine, tandis que le producteur rentrant les mêmes betteraves à sa ferme, qui serait contiguë à la fabrique de sucre, n'aurait rien à payer pour les dégâts occasionnés par ses charrois.

C'est pour l'agriculture une faveur qui pèse lourdement sur l'industrie, et celle du sucre particulièrement en supporte plus qu'aucune autre les charges exorbitantes.

Faveur du système de tuyaux auprès de l'administration.

Dans un mémoire précédent sur un sujet analogue, on a vu qu'une fabrique de sucre avait été sous le coup d'un impôt de 32,000 francs de subventions industrielles pour une seule année. Encore a-t-on vu des fabriques complétement arrêtées faute de pouvoir s'alimenter, l'administration ayant fait fermer les barrières qui empêchent la circulation lorsque le dégel rend les routes trop mauvaises. Il en résulte un dommage considérable par le retard apporté à la fabrication, car, dans ce chômage forcé, la betterave perd chaque jour de sa qualité.

Aussi ce nouveau système de conduites souterraines est-il accueilli avec beaucoup de faveur tout aussi bien par les cultivateurs que par l'administration des ponts et chaussées et de la voirie, qui donne aux usiniers toutes les facilités désirables pour la pose des tuyaux dans l'accotement des routes et chemins, sachant très-bien que ceux-ci pourront être tenus en meilleur état avec des frais moindres.

C'est du reste dans les circonstances fâcheuses signalées plus haut que l'inventeur des râperies, en présence de l'impossibilité, vu l'état des chemins, de transporter à une fabrique plusieurs millions de kilogrammes de betteraves approvisionnés à distance, conçut l'idée de faire voyager souterrainement le jus sucré.

Nous signalerons aussi pour mémoire l'encombrement qu'occasionneraient à l'entrée d'une fabrique les milliers de chariots qui, sur un même point, devraient approvisionner ces milliers de tonnes de marchandises dans un délai très-restreint.

Plus grande facilité d'avoir des ouvriers répartis sur un plus grand espace.

Enfin, les grandes usines ont toujours eu beaucoup de difficultés à se procurer de bons ouvriers en nombre suffisant, spécialement pour le travail pénible des râperies, travail dans lequel la force physique de l'homme joue le principal rôle.

Ces ouvriers doivent travailler douze heures dans l'humidité et par les grands froids de l'hiver. Ils ont de grandes exigences, et même, avec des salaires élevés, on a vu des grèves fréquentes, très-préjudiciables aux fabricants.

Par la dissémination des râperies, il sera très-facile de trouver dans chaque village le nombre d'hommes nécessaires, au lieu de les faire venir le matin, en hiver, de plusieurs kilomètres de distance.

Quant aux ouvriers qui travaillent à la fabrication du sucre proprement dite, il est plus facile de les avoir, leur travail étant moins pénible. En outre, un grand nombre d'entre eux peuvent être occupés toute l'année dans la fabrique, tandis que les autres ne le sont guère que pendant quatre mois.

Envoi d'eau de la grande usine dans les villages.

L'établissement des tuyaux souterrains pour le jus sucré va donner lieu à une très-utile application. Une société des environs de Saint-Quentin établit une râperie à 8 kilomètres de sa fabrique, sur un plateau complétement dépourvu d'eau. Elle s'est engagée vis-à-vis de ses producteurs à leur envoyer de l'eau, après le temps du râpage, par le tuyau qui aura servi au transport du jus.

Il y a dans cet ordre d'idées de grands services à rendre à certaines contrées complétement privées d'eau, dans lesquelles les bestiaux restent

une grande partie de l'année sans être abreuvés, et où les incendies ont des conséquences terribles, puisqu'on ne peut les éteindre faute d'eau.

Importance des conduites créées cette année.

L'application des tuyaux souterrains au transport des jus sucrés a déjà été faite à plusieurs usines. Il s'en construit 100 kilomètres cette année, en 13 râperies, à des distances variables, de 2 1/2 à 23 kilomètres des usines qu'elles doivent desservir. Le faible éloignement de 2 1/2 kilomètres prouve l'intérêt qu'attachent à ce mode de transport et le producteur et le fabricant.

Quant à celle de 23 kilomètres, elle est motivée par la création de 3 râperies sur le même tuyau, à environ 8 kilomètres l'une de l'autre dans la même direction, parce que l'usine centrale se trouve flanquée d'autres fabriques à droite et à gauche, et qu'elle a dû aller chercher au loin, dans une zone inexploitée, l'augmentation de sa production. Cette conduite de 23 kilomètres fonctionne avec une pression d'environ 4 atmosphères, dans d'aussi bonnes conditions que celles qui n'ont que 4 ou 6 kilomètres de longueur.

Il est à notre connaissance que des projets s'élaborent déjà pour l'établissement d'un grand nombre de râperies, dont le développement sera de 4 à 500 kilomètres, et particulièrement de plusieurs grandes usines, basées sur les principes énoncés précédemment.

Grande usine près de Saint-Quentin.

Parmi les usines centrales qui se créent cette année, il en est une à Origny, près Saint-Quentin, qui est installée pour travailler 120 millions de kilogrammes de betteraves en 100 jours de travail, soit 1,200,000 kilogrammes par 24 heures.

Les frais d'établissement de cette usine, avec ses râperies et ses 60 kilomètres de conduites, seront inférieurs à 2 millions de francs, soit donc 18,000 francs par million de kilogrammes de betteraves travaillées.

Indépendamment de cet avantage d'être d'un prix moins élevé que ses devancières, cette usine aura en outre celui de travailler plus économiquement. Elle est due à l'initiative de l'ingénieur auteur du système de râperies, et il a été secondé dans cette entreprise par de riches industriels qui exploitent déjà de nombreuses fabriques et qui ont la plus grande foi dans l'avenir des grandes usines et du système de transport souterrain de jus sucrés. Elle fonctionne depuis quelques jours avec 4 râperies annexes, situées à 8 kilomètres environ chacune de l'usine centrale; elle doit être complétée ultérieurement par 3 ou 4 autres râperies.

Presses continues pour extraire le jus.

On cherche depuis longtemps à remplacer les presses hydrauliques pour exprimer le jus de la pulpe de betteraves. Bien des systèmes ont été essayés et sont encore essayés en ce moment avec succès; presque tous sans exception sont des appareils continus dans lesquels la pulpe est laminée entre deux ou plusieurs cylindres, et ils comportent une grande simplification dans la main-d'œuvre. Ils réaliseront une grande économie dans l'installation des râperies et dans les frais d'extraction du jus. — Il est très-désirable de voir ces essais réussir, car ils s'adressent à la partie certainement la plus difficile ou tout au moins la plus difficultueuse de la fabrication du sucre, à cause des ouvriers.

Il n'est pas douteux que le jour où un appareil de ce genre, tout en étant simple et solide et pouvant donner une pression convenable, serait livré à la pratique, l'installation des râperies dans la campagne prendrait une extension considérable et se multiplierait jusque dans les fermes où chaque producteur pourrait avoir sa fabrique de jus comme il a une machine à battre; il livrerait son jus par un tuyau qui aboutirait à un grand collecteur faisant comme le drainage d'un grand nombre de râperies à l'usine centrale.

Il ne serait pas impossible que les procédés d'extraction de jus connus sous le nom de macération ou de diffusion fussent appliqués dans le cas de la fabrique de jus agricole; car le retour de la pulpe à la ferme, qui présente de grandes difficultés lorsqu'il doit s'effectuer à distance en raison de son poids et de sa contenance en vinasse, ne serait plus un inconvénient le jour où l'extration du jus se ferait pour ainsi dire sur le lieu de sa consommation.

Industrie agricole : Vente du jus à la richesse.

L'idée de la fabrique de jus reçoit déjà cette année trois applications qui pourront avoir des conséquences avantageuses pour les producteurs et peut-être pour les fabricants, c'est la vente du jus au degré de densité ou de richesse par le cultivateur à l'industriel. Dans ce cas, c'est le planteur qui crée la râperie dans sa ferme; il écrase sa betterave lui-même, et il envoie le jus à l'usine centrale, après une reconnaissance contradictoire, soit au départ, soit à l'arrivée. Dans ce cas, le fabricant de sucre n'a qu'à surveiller sa fabrication proprement dite, et le cultivateur devient un industriel agricole; ajoutons qu'il est aussi intéressé à produire de la betterave de bonne qualité, tandis que, jusqu'à ce jour, il n'avait pour but qu'une forte récolte en poids.

RÉSUMÉ.

En résumé, les avantages des râperies avec conduites souterraines, *sont les* suivants :

1° *Possibilité* de créer de grandes usines, en allant chercher des betteraves très-éloignées, dans de bonnes conditions, sans frais de transport;

2° *Réalisation* de grands engagements à long terme de la part des producteurs, assurant l'approvisionnement à des prix modérés;

3° Économie réelle sur les transports de 65 pour 100;

4° *Diminution* des frais de fabrication dans les grandes usines, par la réduction du capital et des frais généraux d'exploitation;

5° Facilité plus grande pour se procurer les ouvriers nécessaires;

6° Réduction considérable dans les frais d'entretien des routes;

7° Création des usines sur les gares des chemins de fer, ou sur les canaux ou rivières navigables, même dans des centres dépourvus de betteraves, et, par conséquent, réduction du prix de la houille et du transport des produits fabriqués;

Dans ce système on ne fait voyager absolument que la matière utile *au fabri*cant, c'est-à-dire le jus sucré;

Dans l'avenir, livraison du sucre à meilleur marché, et par conséquent cette denrée, très-nécessaire à l'alimentation, mise à la portée *des* classes peu aisées;

Possibilité de payer la betterave plus cher, puisque les frais de fabrication diminuent par l'adoption de ce système, et conséquemment augmentation de profits pour l'agriculteur et pour le fabricant;

Possibilité de livrer à la culture de la betterave, c'est-à-dire d'une plante sarclée, améliorant le sol et ses produits, des terres situées en dehors de la zone où il était jusqu'à présent possible de créer avec avantage, à cause des distances, des fabriques de sucre;

12° Facilité d'approvisionner d'eau des contrées qui en sont privées.

C'est donc un immense service rendu à l'agriculture et au pays tout entier.

Nous avons personnellement la conviction des avantages du système, et la certitude de son prompt développement et de sa supériorité sur tous les autres modes de transport pour la betterave et ses dérivés.

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

Choix d'une Société concessionnaire

Examen de divers systèmes dits économiques

(LARMANJAT, SAINT-PIERRE ET GOUDAL)

PAR M. JULES MORANDIÈRE.

SOMMAIRE.

§ I. But de cette note.
1° Choix d'une Compagnie concessionnaire,
2° Considérations générales sur les systèmes dits *économiques*.
§ II. 1° Compagnie des chemins de fer à rail central.
2° Système Saint-Pierre et Goudal.
III. Description du système Larmanjat.
IV. Examen du système Larmanjat, comparativement à un chemin ordinaire. Conclusion.
V. Services que peuvent encore rendre les systèmes dits *économiques*.
ANNEXE A. Circulaire envoyée aux conseils généraux, par M. J. Larmanjat.

I

But de cette note.

Dans le discours d'ouverture du président pour l'année 1869 se trouve ce passage :

« Le § 4 du même article (II) de nos statuts relatif au but de la Société « est conçu comme il suit : « *A poursuivre par l'étude des questions d'éco-* « *nomie industrielle, d'administration et d'utilité publique l'application la* « *plus étendue des forces et des richesses du pays.* » On ne saurait dire plus « en moins de mots, et cette disposition nous invite à élaborer les sujets « dont la solution intéresse le plus vivement la prospérité nationale. « — Qui peut mieux que vous déterminer l'emploi des capitaux impro- « ductifs et faire cesser entre les institutions de crédit et les établisse- « ments industriels un éloignement que semble encourager le silence et « la réserve des ingénieurs? Votre situation et votre caractère vous au- « torisent à signaler les branches du travail qui présentent des éléments « de succès ou des causes d'infériorité, afin d'exercer une heureuse in- « fluence sur la fortune publique. »

Je pense donc entrer dans l'esprit de la précédente citation en vous présentant quelques observations critiques sur la situation actuelle des chemins de fer d'intérêt local, d'abord au point de vue du rôle de l'ingénieur qui, jusqu'à ce jour, est complétement effacé par l'entrepreneur. Ces remarques m'ont été suggérées par les faits observés pendant l'étude d'avant-projet d'un chemin de ce genre, à laquelle j'ai collaboré, dans l'un des départements de l'Est. Je désire ensuite attirer l'attention de la Société sur certains systèmes dits *économiques*, et j'espère que la discussion qui s'ouvrira ultérieurement mettra encore plus en évidence leur inutilité et même leurs dangers.

1° Choix d'un concessionnaire.

I. — *Opérations pour l'exécution d'un chemin de fer d'intérêt local.*

Voici le résumé de la série des opérations que nécessite aujourd'hui l'exécution d'un chemin de fer d'intérêt local : — Formation d'un comité local. — Entreprise des études soit par ce comité, soit par le département. — Présentation des tracés au conseil général, qui en adopte un. — Fixation du concours du département. — Vote des subventions des

communes. — Enquête préalable dans la localité. — Réalisation des capitaux nécessaires ou promesses de souscriptions de sommes égales. — Concession donnée par le conseil général ou pouvoir de traiter délégué au préfet.

Examen du projet par le conseil des Ponts et chaussées, puis par le Ministre de l'intérieur. — Examen du conseil d'État pour dresser le décret d'utilité publique, fixant la part contributive de l'État.

Formation d'une Compagnie définitive. — Traité d'exploitation, s'il y a lieu. — Réalisation des capitaux, actions, émission d'obligations. — Commencement de l'établissement du chemin et de son matériel. — Mise en exploitation.

Cette série d'opérations demande, comme on le voit, une certaine entente de questions diverses que l'on ne trouve pas en général chez la même personne. Si ce sont les intéressés et les gens de la localité qui introduisent les démarches, ils connaissent la question administrative, mais ils ignorent les questions techniques et manquent souvent de la science de l'initiative.

Si ce sont des ingénieurs qui suivent exclusivement l'affaire, ils sont souvent embarrassés par les démarches administratives. Néanmoins ce sont eux qui, par leur instruction étendue, sont le plus aptes à se mettre rapidement à la hauteur de la tâche à remplir.

D'un autre côté, les conseils généraux exigent, avant de traiter, que l'on justifie de la souscription du capital actions; or, ce capital ne peut quelquefois se placer dans la localité, et le plus souvent il faut avoir recours à une combinaison financière où l'on accepte un entrepreneur général qui, moyennant une commission spéciale, se charge de ce service de finance et de l'exécution du chemin, quelquefois même de l'exploitation.

Les Sociétés locales dites *Sociétés financières* ne trouvent de salut que dans ces combinaisons et ne croient nullement un ingénieur qui vient leur dire qu'il serait plus économique de faire la construction en recourant à l'adjudication publique, puis d'assurer l'exploitation au moyen d'une administration locale. — La raison est simple : les développements techniques de cet ingénieur sont le plus souvent compris, mais ses dires ne sont pas appuyés sur une solvabilité de quelques millions de francs[1], et nous pourrions citer tel chemin de fer de 13 kilomètres de longueur, ayant réalisé son capital de 1,700,000 francs, qui se croira en sûreté entre les mains d'un entrepreneur général, ayant un capital de 6 millions environ, mais ayant en cours peut-être pour dix fois cette somme de travaux; le même chemin repoussera une combinaison par laquelle un comité local se chargera de surveiller les travaux, ainsi que d'installer et de diriger l'exploitation, et cela parce que ce comité n'aura d'autre

1. En termes d'industrie, l'ingénieur susdit manque de *surface*.

capital que celui de la Société financière[1]. — Chacun comprend très-bien que l'on fasse attention à l'honorabilité des personnes auxquelles on confie le soin d'administrer le capital social et que l'on apporte un soin tout particulier au choix d'un ingénieur, mais il n'y a aucun motif pour demander à de telles personnes des garanties autres que celles que l'on peut demander à tout administrateur de Société, et encore moins pour remplacer des garanties de personnes par le mirage du capital social d'une Compagnie anonyme ou autre, de France ou de l'étranger, dont on ne connaît même pas les administrateurs.

II. — *Inconvénients d'un Entrepreneur de travaux, concessionnaire de l'exploitation.*

Il paraît utile de signaler ici les inconvénients qui peuvent résulter d'une concession donnée à une Société d'entreprise de travaux n'ayant pas l'obligation de constituer une Société anonyme, indépendante de l'entreprise, et dont la mission est de surveiller les travaux, puis d'organiser l'exploitation. Le premier acte de la Société d'entreprise sera d'émettre des obligations pour l'exécution du chemin dont elle a la concession, et cela jusqu'à concurrence des sommes non couvertes par les subventions. — Puis, comme elle gagne sur l'exécution des travaux, elle cherchera à en faire le plus possible, ainsi que pour les bâtiments divers, fournitures de matériel fixe et roulant. — Voici donc un chemin construit dans lequel il n'y a, au jour de l'ouverture de l'exploitation, que des obligations, sans capital actions. — Si le chemin rapporte plus que le service des obligataires, la Société garde le surplus; s'il rapporte moins, ou les obligations ne toucheront qu'une partie des intérêts, ou le chemin sera mis en faillite. — Quant à la Société d'entreprise, elle est quitte de tout engagement et peu lui importe l'avenir du chemin de fer. — Ce tableau est peut-être un peu sombre, mais nous avons voulu montrer sa possibilité pour engager à prendre toute précaution d'avance. — Il en serait tout autrement d'une Société spéciale formée en vue de l'exploitation et qui surveillerait avec soin l'exécution des travaux dont elle aurait l'entretien par la suite, éviterait avec soin toute dépense inutile, et avec les économies réalisées sur la construction, s'il y en avait, se constituerait une réserve destinée à parer aux éventua-

1. Le but de nos lois de concession et des Statuts des Sociétés est de ne confier l'exécution du chemin de fer qu'aux mains intéressées à l'exécuter le mieux et le plus économiquement possible. Un entrepreneur ne représente jamais cet intérêt aussi bien qu'un Conseil d'administration qui se fait éclairer par des agents honorables. Toute combinaison différente est un leurre, et lègue à l'avenir les difficultés les plus graves. C'est uniquement le manque d'argent à l'origine qui engendre les combinaisons financières dans lesquelles les Comités d'administration abdiquent leur devoir. (Note de M. E. Flachat.)

lités du trafic, au parachèvement de la ligne, ou à l'extension des installations en vue du développement du trafic. Avec une pareille organisation, il y aurait peu d'inconvénients à recourir à une entreprise générale à forfait, traitant de l'exécution de la ligne seulement et de la formation du capital social. La Compagnie surveille les travaux et réserve les intérêts de l'exploitation à intervenir.

2° Considérations générales sur les systèmes dits Économiques.

D'un autre côté, nous voyons tous les jours surgir des combinaisons qui se présentent tout d'une pièce sous le titre pompeux de *Systèmes de chemins de fer économiques*, et ces systèmes se gardent bien de se produire au sein de votre Société où, disent-ils, ils rencontreraient une malveillance jalouse, mais ils se répandent dans la province et s'adressent directement aux conseils généraux.

Ainsi vous verriez, dans les rapports du 2e bureau du conseil général du Bas-Rhin, session de 1868, que la Compagnie des chemins de fer à rail central, que le système économique *uno-rail*, etc..., ont été l'objet d'un examen sérieux et de rapports de l'agent-voyer en chef faits sur l'invitation du préfet, et de nominations de commissions spéciales. — Il en a certainement été de même dans beaucoup d'autres départements, mais tous, dans leurs appréciations, se sont tenus sur une réserve prudente.

Cette année, à côté du 1er fascicule d'un ouvrage très intéressant sur les chemins de fer d'intérêt local, par notre collègue M. Level, c'est le système de M. Larmanjat qui a fait les frais de la session des assemblées départementales[1]. — Appuyé sur un chemin d'expé-

1. Dans la note envoyée aux Conseils généraux (annexe A page 15), M. Larmanjat dit qu'un arrêté ministériel, en date du 29 mars 1869, a autorisé l'application de son système sur les routes de France sous les réserves d'entretien de la voie concédée et conservations du profil de la route.

Voici le texte de l'avis du Conseil général des Ponts et chaussées, auquel il est fait ici allusion.

« Le Conseil, d'après les expériences faites, et sans se prononcer sur la valeur économique du système, estime qu'il n'y a pas lieu de mettre obstacle à de nouvelles applications, sous les conditions et réserves suivantes :

« *Le rail* central ne devra pas faire saillie sur le profil de la route, et la largeur de la route soumise à l'influence du train sera entretenue par le concessionnaire ; chaque demande d'application sera accompagnée d'un profil d'établissement avec cahier de charges et tarifs dans les formes usitées, et sera soumise après examen à une enquête, pour être statué ensuite comme il appartiendra. »

Le Ministre a approuvé cet avis en conseil des Ponts et chaussées, par décision du 9 mars 1869 notifiée le 29.

rimentation de quelques kilomètres, fonctionnant, depuis plus d'un an, entre le Raincy et Montfermeil, ce système intermédiaire entre la locomotive routière et le railway proprement dit se présente sous certains aspects séduisants au premier abord, et c'est ce qui m'a engagé à faire l'étude que je vais maintenant vous soumettre, ainsi que les conclusions qui s'en déduisent. Je dirai d'abord quelques mots seulement des systèmes : 1° à rail central et 2° Saint-Pierre et Goudal, et je m'étendrai ensuite sur le système de M. Larmanjat.

II

1° Compagnie des chemins de fer à rail central.

Cette Compagnie, se fondant sur le succès du chemin de fer du Mont-Cenis, a pensé que toutes les routes de France étaient susceptibles d'une telle application. Voici la délibération prise à son sujet par le conseil général du Bas-Rhin au mois d'août 1868, sur le rapport de son bureau spécial :

« La Compagnie des chemins de fer à rail central a adressé une circu-
« laire à votre président pour le prier d'attirer votre attention sur le
« système exploité par elle et qui serait, dit-elle, d'une application très-
« avantageuse pour les lignes départementales.

« Ce système, appliqué au passage du Mont-Cenis, a été à peine mis
« en pratique depuis deux mois; l'expérience n'est pas suffisante pour
« vous permettre de consacrer des sommes importantes à un essai de ce
« genre; mais comme les inventeurs affirment que leur système est des
« plus économiques et qu'ils sont assurés de réaliser des bénéfices, votre
« 2e bureau estime que si cette Compagnie demandait à construire une
« ligne à ses frais, risques et périls, rien ne s'opposerait à ce qu'elle lui
« fût concédée. »

« Le conseil adopte les conclusions de ce rapport. »

Il va sans dire que la Compagnie n'a pas usé de cette faculté.

Nous ajouterons seulement trois considérations :

1° Les éléments du chemin de fer à rail central (système Séguier-Fell) sont dans le domaine public et les détails d'application seuls sont brevetables;

2° L'exemple du chemin de fer de Tavaux-Pontséricourt, construit par MM. Molinos et Pronnier, et en service depuis plus de deux ans, prouve que pour remonter des rampes de 7c,5, il n'est nullement besoin de rail central, et ce dernier ne devient utile que pour la descente des longues pentes d'une inclinaison de 35 millimètres et au delà.

3° L'utilisation de l'accotement des routes, et, pour les fortes rampes, l'adoption du rail central, peuvent diminuer dans certains cas les frais d'établissement, mais leur emploi n'exerce aucune influence favorable sur les frais d'exploitation.

2° Système Saint-Pierre et Goudal.

Dans un premier système, appelé *uno-rail*, ces inventeurs avaient pensé que, pour économiser encore sur les dépenses d'établissement du chemin de fer, il fallait simplifier le système Séguier-Fell en supprimant les deux rails porteurs et ne conservant que le rail central toueur. Ils trouvaient en outre cet avantage que les chariots porteurs, ayant des roues à jantes lisses, pouvaient servir aussi sur les routes ordinaires. Mais on augmentait ainsi fortement les frais de traction, et par suite les dépenses d'exploitation.

L'expérience a montré de suite que le passage d'une série de roues sur une même partie de route détériorait très-rapidement le macadam, et l'on a cherché à y remédier par l'emploi de dallages faits soit en bois, soit en pierre, soit en asphalte, tentatives conduisant à une augmentation de dépense, sans amélioration sensible des conditions de résistance au roulage. Les inventeurs, tournant dans ce cercle vicieux, ont abouti forcément au retour aux trois rails en fer, et pour éluder les brevets de la *Compagnie des chemins de fer à rail central,* ils ont dû modifier quelques détails. C'est ainsi qu'ils ont adopté un rail central en trois pièces et d'autres combinaisons qui, à notre estime, sont loin d'être heureuses, et que la pratique n'a en aucune façon sanctionnées. Mais il est pareillement très-facile d'éluder ces derniers brevets, qui ne peuvent ainsi devenir la base d'une opération sérieuse.

Actuellement, MM. Saint-Pierre et Goudal organisent une Compagnie anonyme, au capital de 4,000,000 de francs, pour la construction et l'exploitation des *Chemins de fer routiers*[1] d'intérêt local, en se réservant, d'après les statuts, des avantages assez considérables comme fondateurs, et en échange de l'apport de leurs brevets.

III

Description du système Larmanjat[2].

Tous ceux que la question intéresse connaissent le système Larmanjat;

1. Siége social provisoire, 23, rue Drouot.
2. Un de nos collègues, M. Alfredo Cottrau, fait connaître, par une lettre adressée au

je n'en ferai donc qu'une courte description, complétée d'ailleurs par la note Annexe et par les dessins joints à cette notice. (Planche 11.)

La voie de fer se compose d'un rail unique léger, supporté par de petites traverses. — Les wagons sont munis de roues à gorge placées dans l'axe du véhicule, et se tiennent en équilibre en quelque sorte comme un vélocipède. — Toutefois, pour assurer la stabilité à tout moment, le véhicule porte également, au milieu de sa longueur, un essieu perpendiculaire à l'axe longitudinal, muni de deux roues, roulant sur le sol comme les roues d'une voiture ordinaire. Les ressorts de cet essieu étant très-flexibles, les dénivellations n'augmentent que peu la charge reposant sur lui, et la tension des divers ressorts est disposée de manière à faire porter les 2/3 ou les 3/4 du poids total sur le rail unique.

Les roues à gorge sont montées sur pivot, et comme de plus l'attelage se fait au moyen de barres placées dans l'axe de la voiture, il résulte de ces deux dispositions une grande facilité pour le passage des courbes dont le rayon peut descendre jusqu'à 5 mètres.

La machine locomotive est une locomotive routière, avec cette différence que les deux roues de support sont dans l'axe de la machine, une devant, l'autre derrière la paire de roues motrices. La presque totalité du poids est portée par cette dernière, les autres servant seulement pour le guidage. La locomotive prend donc son adhérence sur le sol de la route ou quelquefois sur des longrines en bois, et M. Larmanjat pense par là trouver plus d'*adhérence* que sur le fer [1].

Le rail est très-peu en saillie sur la chaussée, 2 ou 3 centimètres environ, de sorte qu'en admettant un bon entretien le long du rail, on pourrait considérer une telle saillie comme nulle [2], et le chemin de fer pourrait se mettre sur le côté d'une route assez étroite, puisqu'il n'occuperait pour ainsi dire pas de zone exclusivement consacrée à son usage; le fait inverse a lieu dans la solution de MM. Molinos et Pronnier, à Tavaux-Pontséricourt, où le chemin de fer étant sur une banquette en saillie, il faut ajouter la largeur de cette banquette à la route; on accepte ainsi franchement, et cela paraît préférable à tous égards, l'isolement d'une bande de terrain, en multipliant les traversées à niveau si le besoin en est.

M. Larmanjat a construit un chemin d'essai entre le Raincy et Montfermeil, présentant les termes extrêmes de son programme, rampes de 6 à 8 centimètres, courbes de 5 mètres de rayon. — Chacun a pu voir

Président, et datée de Naples, 15 novembre 1869, qu'il a dès 1866 proposé à la direction des Chemins de fer méridionaux d'Italie, un système basé *sur l'adhérence des roues motrices sur le sol*. Il y a deux files de rails de support.

1. Nous nous réservons de revenir sur cette question avec quelques développements.

2. Dans le cas où l'administration supérieure ne l'entendrait pas ainsi, il serait question alors ou d'employer deux contre-rails latéraux, ce qui est cher, ou bien un rail en gouttière, ce qui triple la résistance à la traction.

fonctionner ce chemin, qui a démontré la possibilité de l'existence matérielle de ce système; mais s'ensuit-il de là que le système de chemin de fer de M. Larmanjat soit toujours nécessaire pour les chemins de fer très-économiques? Nous ne le pensons pas, nous croyons même au contraire que le chemin de fer à voie étroite et matériel réduit sera généralement plus avantageux, et que ce n'est que dans le cas d'une absolue nécessité de suivre une route très-étroite, très-accidentée et à courbes de très-petit rayon que le système Larmanjat devient admissible. C'est ce que nous allons essayer de mettre en évidence.

IV

Examen du système de M. Larmanjat, au point de vue de la construction, du coût du matériel, et de l'exploitation[1].

Afin d'être aussi bref que possible, nous renverrons souvent à la note distribuée aux conseils généraux (annexe A page 439) par M. Larmanjat, et nous nous servirons dans notre comparaison des bases d'évaluation qui y sont indiquées.

1° Construction et entretien. — Le rail proposé pèse 13 kilogrammes du mètre courant; il porte environ les 2/3 du poids des véhicules réparti sur deux roues, soit 1/3 du poids par roue; si nous divisons la file unique de rails en deux, et si le même wagon est porté par quatre points d'appui, chacun d'eux supportera 1/4 du poids total, par suite le poids du rail peut être diminué dans le rapport de 1/4 à 1/3, et nous aurons $\frac{x}{13} = \frac{1/4}{1/3} = \frac{3}{4}\,13 = 9^{kil}.75$ par mètre courant. — Nous supposerons aussi qu'une voie soit posée dans le sol de la chaussée, comme au Brœlthal, fig. 9, pl. 11, ce qui permettrait à un chemin à voie de $1^m,00$ de largeur de se mettre sur une route ayant $7^m,30$ entre les arêtes des fossés, dont 6 mètres toujours disponibles pour les voitures ordinaires. — Les dépenses de pose d'une pareille voie sur la chaussée d'une route, en adoptant les prix de base de M. Larmanjat, sont par kilomètre :

Dépenses pour une voie de 1 mètre de largeur posée sur chaussée..	19 500^k de rails à 25 fr. les 0/0	4,875^f
	Éclisses, boulons, crampons	375
	Traverses-600 de $1^m,60$ de largeur	1,600
	Pose des rails et dérochage du macadam	2,000
	Fourniture de ballast	1,000
	Pour imprévu, 5 0/0	500
	Ensemble par kilomètre	10,350

1. Il est à peine nécessaire de faire remarquer que ce système ne peut être comparé avec un chemin établi sur le grand modèle, mais bien avec un chemin à rails légers, véhicules légers, comparable en tout point aux bases qu'admet M. Larmanjat.

Or, dans la notice précitée de M. Larmanjat, les prix sont les suivants :

a) Les deux côtés macadamisés (route de 2.25 + 6m00 = 8m25 de largeur, fig. 6, pl. 11). . . . . 7.950 f.

b) Une longrine en bois du côté du fossé (route de 1.25 + 6m00 = 7m25 de largeur, fig. 7 pl. I). 9.800

c) Deux longrines en bois (route non macadamisée, fig. 8, pl. 11). 15.000

Ainsi la voie ordinaire à deux files de rails est moins chère de 4,650 fr. par kilomètre que la voie Larmanjat du type *c*) à deux longrines latérales; elle est presque du même prix que la voie du type *b*) à une seule longrine, et si elle est de 2,400 fr. par kilomètre plus chère que la voie du type *a*), par contre elle peut se mettre sur une route plus étroite que la précédente de un mètre. D'un autre côté, il faut tenir compte de l'avantage évident que la voie ordinaire possède sur la voie Larmanjat au point de vue de l'entretien courant, des renouvellements, etc., et si l'on remarque que les intérêts d'une mise de fonds première de 2,400 fr., calculés à 6 p. 100, se montent à 144 fr., on conclura certainement que l'économie réalisée sur l'entretien compensera et au delà cette somme. Incidemment, et pour le cas d'une voie en pleins champs, la largeur de la plateforme de la voie Larmanjat est plus grande que la largeur de la plateforme de la voie de 1m,00 de largeur.

Donc, pour une voie ordinaire à deux files de rails de 1m,00 de largeur, *la construction et l'entretien* sont toujours plus économiques que pour la voie du système Larmanjat.

2° Traction et matériel roulant. — On a deux types de locomotives, l'un pesant 5 tonnes en charge, 4 tonnes à vide, coûtant 16,000 fr.; l'autre, de 7 tonnes en charge, 5t,5 environ à vide, coûtant environ 22,000 fr., ce qui fait ressortir le prix du kilogramme à 4 fr. Des machines du même poids et du type ordinaire coûteraient 2f,50 à 3 fr. au plus du kilogramme, c'est-à-dire 12,000 fr., et 16,500 fr. en prenant le prix le plus élevé.

D'après les expériences, les machines Larmanjat remorqueraient les charges indiquées dans le tableau suivant :

INDICATION des RAMPES.	Locomotive de 5 tonnes.		Locomotive de 7 tonnes.		Rapport de la charge remorquée au poids de la locomotive.	
	Vitesse en kilomètre à l'heure.	Charges remorquées, tonnes brutes.	Vitesse en kilomètre à l'heure.	Charges remorquées, tonnes brutes.	Locomotive de 5 tonnes.	Locomotive de 7 tonnes.
	km.	t.	k.	t.		
Sur palier.....	14	50	8 à 10	90	1:10	1:13
De 1 à 3 centim.	10	22	6 à 8	30	4.4	4.3
De 3 à 5.....	9	15	6 à 8	20	3	2.9
De 5 à 7.....	9	8	6 à 8	10	1.1	1.4
De 7 à 9.....	8	5	6 à 8	8	1	1,02

M. Larmanjat nous dit dans sa note (voir page 441) que « les locomotives actuelles, malgré tout leur poids, n'ont point encore assez d'adhérence pour franchir les rampes. »

Nous ne connaissons pas, il est vrai, d'exemples de locomotives ordinaires remontant des pentes de 9 centimètres, mais nous pouvons en citer pour des inclinaisons de 8 centimètres et au-dessous.

Au Mont-Cenis, l'auteur de cette note a vu les locomotives de 22 tonnes du chemin Fell remorquer, pendant l'été, sans l'aide du rail central, entre Saint-Michel et Lanslebourg, partie où se trouvent des rampes de 8 centimètres, une charge presque correspondante à leur poids.

Sur le chemin de fer de Tavaux-Pontséricourt, des locomotives de 7t,5 remorquent, sur des rampes de 6 et 7.5 centimètres, un ou deux wagons, suivant l'état du temps, pesant chacun en charge 7t,5. C'est donc en moyenne une fois et demie leur poids (communication de MM. Molinos et Pronnier à la Société des ingénieurs civils, année 1867).

Le chemin de fer d'Enghien à Montmorency présente une rampe variant de 2 centimètres à 4c,5, sur laquelle des locomotives du Nord, pesant 30 tonnes, remorquent très-bien, les jours de fête, des trains de 8 voitures, pesant ensemble 80 à 90 tonnes, soit 3 fois leur poids.

Les locomotives à 4 cylindres du Nord, pesant 60 tonnes en charge, remorquent aisément des trains de 250 tonnes sur la ligne de Chauny à Saint-Gobain, sur rampes de 2 centimètres, c'est-à-dire un peu plus de 4 fois leur poids (*Compte rendu officiel des expériences*, *Annales des Mines*). Or, on trouve sur ces rampes des courbes de 250 mètres qui exercent une grande influence sur un train de 18 wagons[1].

Si donc on peut, comme le montrent les exemples ci-dessus, faire avec la locomotive ordinaire *tout* ce que fait la locomotive Larmanjat, pourquoi se donner cette condition désavantageuse du roulement sur le sol qui non-seulement détériore très-rapidement toute la machine, mais force à donner aux trains de voyageurs une vitesse plus petite que quatre lieues à l'heure[2]?

1. On peut chercher à se rendre compte de la rampe-limite que peut remonter une locomotive d'un poids donné; en effet, une machine pesant 6 tonnes par exemple, pourra exercer un effort de 1000 kilos, si on suppose son adhérence limitée au 1/6; or l'influence de la pesanteur étant de 1k par millimètre de pente et par tonne, sera, pour l'ensemble de la locomotive 6k par millimètre, soit 540k pour 9 centimètres, et ce n'est que sur une rampe de 16cm,5 que l'influence de la gravité empêchera la locomotive d'avancer. — Sur la même rampe de 9 centimètres, l'effort disponible au crochet d'attelage étant d'environ 400k, correspond à la résistance donnée par une charge de près de 5 tonnes brutes, c'est-à-dire 0,80 du poids de la locomotive.

2. Dans l'annexe A, à la page 441, M. Larmanjat tire lui-même la conclusion qui découle du tableau du travail de ses locomotives sur rampes :

« On saisit de suite le grand intérêt qu'il y a pour une exploitation lucrative à ne point avoir de routes présentant des rampes de plus de 3 centimètres par mètre. »

Quant aux voitures et wagons, nous trouvons à la page 439 dans l'annexe A les renseignements suivants :

1 wagon à voyageurs, de 20 places, pèsera 2,000 kilogrammes et coûtera	4,500 f.
1 fourgon à messagerie, chargeant 4 tonnes, pèsera 2,000 kilogrammes et coûtera	3,000
1 wagon à marchandises, chargeant 5 tonnes, pèsera 1,000 kilogrammes et coûtera	2,500

Sans discuter la possibilité de l'exécution d'un matériel dans les conditions susdites, j'appellerai l'attention sur la question des prix :

1 wagon à voyageurs de 3e classe de la Compagnie d'Orléans, à 50 places, pèse 6,280 kilogrammes et coûte	4,700 f.
1 wagon à voyageurs du Mont-Cenis pèse 3,600 kilogrammes et coûte	4,500
1 fourgon à messageries à six roues de la Compagnie de Lyon, pesant 7,600 kilogrammes et portant 8 tonnes, coûte	4,190
1 fourgon à marchandises de la Compagnie de l'Est, pesant 6 tonnes et en portant 10, coûte	3,600
1 wagon à houille, à frein, de la Compagnie de Lyon (à châssis en fer), pesant 5,400 kilogrammes et portant 10 tonnes, coûte	2,725
1 wagon à houille, à frein à main Stilmant, construit par MM. Chevalier-Cheylus, pesant 4,100 kilogrammes et portant 8 tonnes, coûte	2,050
1 wagon à minerai du chemin de Mondalazac, à frein à vis, pesant 1,500 kilogrammes et chargeant 4 tonnes, coûte	1,300

Ces prix sont très-rapprochés de ceux des véhicules du système Larmanjat, et il est certain que des véhicules établis, dans les mêmes conditions de tare et de chargement que les siens, sur le modèle réduit de ceux des chemins de fer ordinaires, coûteraient de 2/3 à moitié moins cher.

Les dépenses d'entretien d'un pareil matériel seront également plus faibles que celles des véhicules du système proposé. Il en est de même pour les locomotives. Cela est évident pour tout ingénieur et n'a pas besoin de démonstration.

Donc, tant sous le rapport du prix d'établissement que sous le rapport de l'entretien, le matériel obtenu par la réduction du type ordinaire est le plus avantageux.

Il ne reste plus aux machines et véhicules de M. Larmanjat que l'avantage de pouvoir passer dans des courbes de 5 mètres de rayon. Jusqu'à présent, avec le matériel réduit, on n'est pas descendu au-dessous de 30 mètres de rayon, et il serait difficile de le faire, à moins d'adopter des

dispositions particulières, comme par exemple celles du système Arnoux, du chemin de Sceaux, ou les voitures avec deux *bogies* à l'américaine. — Dans ces derniers cas, le prix des véhicules serait un peu augmenté.

3° EXPLOITATION. — A la page 18 (dans l'annexe A), M. Larmanjat a donné l'organisation d'une ligne de 20 kilomètres de longueur. — En admettant toujours les mêmes bases, sans discussion, nous formeron le tableau comparatif suivant :

DÉSIGNATION DES ARTICLES. *Effectif du matériel, des ateliers et de l'outillage.*	NOTICE de M. Larmanjat.	CHEMIN ORDINAIRE voie de 1m.00.
2 locomotives de 5 tonnes (4 t. vide).....	32.000	24.000 fr.
3 voitures à voyageurs.....	13.500	12.000
2 wagons messageries.....	6.000	5.000
3 wagons plateformes.....	7.500	6.000
	59.000	47.000
Ateliers et outillage.....	11.000	11.000
	70.000	58.000
Prix d'établissement.		
Le prix de la voie, avec l'hypothèse d'une longrine est, pour le système Larmanjat, de 9.800 francs par kilomètre :		
Soit pour les 20 kilomètres.... 196.000 Gares, bureaux, etc..... 4.000	200.000	
Le prix de la voie du système ordinaire est, d'après ce que nous avons dit plus haut, 10.350 francs par kilomètre.		
Soit pour 20 kilomètres.... 207.000 Gares, bureaux, etc..... 4.000	«	211.000
Le capital total de premier établissement sera donc.....	270.000	269.000

On peut donc dire que les dépenses de premier établissement sont identiques.

D'un autre côté, l'organisation du personnel et du service sont les mêmes dans les deux cas, de sorte que les dépenses d'exploitation sont aussi les mêmes [1].

1. C'est ici le lieu de faire une critique entendue au sein d'un conseil général. D'après la notice de M. Larmanjat, tout fait supposer que le personnage principal de ce chemin de 20 kilomètres est le mécanicien; on ne trouve nulle part l'indication des frais d'administration. Il est vrai que l'auteur a peut-être prévu un cas ou par hypothèse il serait concessionnaire de l'embranchement, et prendrait alors à sa charge les frais généraux et d'administration.

Il ne reste plus à examiner que les dépenses d'entretien du matériel fixe et roulant. — Or, comme nous l'avons déjà dit aux §§ 1° et 2°, il paraîtra évident pour tous qu'une voie avec deux files de rails coûtera beaucoup moins cher d'entretien que la voie à file unique avec sa zone de macadam ou de longrines; les dépenses d'entretien des locomotives et véhicules roulant sur deux files de rails seront également beaucoup moins grandes que les dépenses relatives à des véhicules portant en partie sur le sol.

Donc, *conclusion générale*, dans les conditions où un chemin exécuté suivant le système Larmanjat serait rémunérateur, un chemin à voie étroite, simple réduction du type ordinaire, sera rémunérateur *à fortiori*.

V

Services que peuvent rendre les systèmes économiques.

Les observations qui précèdent ont été motivées par la crainte que les opérations engagées aujourd'hui sur les chemins de fer d'intérêt local ne jettent dans le public un discrédit complet sur ces chemins et n'arrêtent, à son essor, les bons effets de la loi du 12 juillet 1865.

Beaucoup de personnes trouveront peut-être que nous avons dit un peu sévèrement la vérité sur les divers *systèmes* de chemins de fer soi-disant économiques; aussi, croyons-nous devoir signaler la voie dans laquelle ils pourront rendre service et rémunérer les recherches souvent fort ingénieuses et les peines de leurs auteurs, d'autant plus que tous cherchent à réaliser ce point très-vrai : *proportionner l'outil au travail à accomplir*.

Si l'on présente au public un chemin de fer copiant, en les réduisant, les dispositions d'un railway ordinaire, personne ne sera satisfait : chacun veut un grand chemin de fer. — Mais si après avoir bien montré l'impossibilité de l'existence industrielle de ce chemin, on vient alors apporter un certain ensemble d'agencements, décoré du nom de système économique, chacun l'adopte de toutes pièces comme une transition entre la voiture publique et le chemin de fer de son rêve.

Le *système économique*, quel qu'il soit, a donc des chances pour être facilement admis par l'opinion publique; le rapport fait au conseil général de l'Yonne, et reproduit par le *Journal officiel* du 5 octobre dernier, en est une preuve manifeste; mais sitôt qu'un tel système aura obtenu une concession, qu'il se hâte de la transformer, lors de l'exécution, en une simple réduction, en bonne forme, du système ordinaire, et c'est alors qu'il sera utile à tous.

ANNEXE *A*.

Note envoyée aux conseils généraux, août 1869.

CHEMIN DE FER MIXTE A UN SEUL RAIL.

Système J. LARMANJAT, *ingénieur*, 39, *boulevard Magenta, Paris.*

La réunion des conseils généraux m'engage à appeler l'attention sur mon système de chemin de fer à un seul rail.

Malgré tout le désir du gouvernement et des départements, il est prouvé que la réalisation des chemins de fer d'intérêt local, au prix de 100 à 120,000 francs le kilomètre, n'est praticable que dans peu de cas à raison du peu de recettes de ces lignes, et l'opinion publique est préoccupée d'un tel état de choses.

La ligne de démonstration que j'ai établie entre le Raincy et Montfermeil, en raison des difficultés de son profil, a fourni depuis un an qu'elle fonctionne un vaste champ d'observations et a prouvé que mon système est la solution du chemin de fer économique, tant au point de vue des frais de premier établissement que comme exploitation.

Un arrêté ministériel en date du 29 mars dernier[1], autorisant l'application de mon système de chemin de fer sur les routes de France, sous les réserves d'entretien de la voie concédée et conservation du profil de la route, je crois intéressant de donner les principales bases d'installation de mon système, tant comme prix de la voie que comme acquisition de matériel, afin de permettre aux intéressés d'établir un devis comparatif avec les projets qu'ils ont en vue.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE

(non compris travaux d'art).

La voie peut être établie entièrement en macadam, si la distance du rail au bord du fossé dépasse 2.25, comme l'indique la figure 6, pl. I.

Si la largeur de la route ne permet pas l'installation du rail dans ces conditions, et qu'il fût nécessaire d'approcher le rail du bord du fossé, la voie serait construite avec une longrine en chêne du côté de celui-ci, comme l'indique la figure 7.

Enfin, si au lieu de passer sur une route départementale la ligne en projet était appelée à suivre un chemin vicinal ou de grande communication, ou si les difficultés du profil exigeaient le passage à travers champs, sauf à prendre la route pour utiliser ses ponts ou autres travaux d'art, la voie serait établie comme figure 8, avec traverses de $1^m,50$ en $1^m,50$ et longrines en chêne de chaque côté.

Les bois ayant tous la section de 0.16×0.07, le rail ne pèserait, dans tous les cas, que 13 kilog. le mètre courant; ce rail ne servant qu'au roulement des véhicules et à supporter une partie du poids de la machine.

1. Nous l'avons donné, page 5 ci-dessus. J. M.

Les prix de construction varieront suivant le prix des matériaux sur place, la nature des terrains, etc., de telle sorte que les renseignements donnés ci-après ne sont qu'approximatifs.

1° Les deux côtés macadamisés, par kilomètres :

13,000 kilog. de rails, à 25 fr. les 100 kilos	3,250 fr.
Éclisses, boulons, crampons	200
600 petites traverses de 0.40 × 0.16 × 0.07	400
Pose du rail et dérochage du macadam	1,400
Fourniture de cailloux et sable	800
Compression par rouleau et arrosage	1,500
Pour imprévu, 5 pour 100	400
	7,950

Deuxième cas. Une longrine, côté du fossé :

13,000 kilog. de rails, à 25 fr. les 100 kilos		3,250
Éclisses, boulons crampons		200
600 traverses de 1m × 0.16 × 0.07 1,000 mètres de long. chêne.	Ensemble 18mc, à 135 fr.	2,430
Pose du rail, dérochage, nivellement		3,420
Pour imprévu, 5 pour 100 environ		500
		9,800

Troisième cas. Deux longrines et traverses :

13.000 kilog. de rails, à 25 fr. le 100		3,250
Éclisses, boulons		200
600 traverses de 2m 0.16 × 0.07 2,000 m. de longrines d°	36mc à 135 fr.	4,860
Pose de la voie et consolidation		4,000
Fourniture de ballast et régalage		2,000
Imprévu		790
		15,000

TRACTION ET MATÉRIEL ROULANT.

La quantité de matériel dépendra du trafic à effectuer.

C'est ici le lieu de rappeler les principes de mes machines locomotives :

En prévision du trafic, j'établis deux types de machines, l'une du poids d'environ 5 tonnes, marchant à une vitesse moyenne de 14 à 16 kilomètres et pouvant remorquer soit les trains de voyageurs, soit les trains mixtes; la vitesse de cette machine peut d'ailleurs dans certaines circonstances être portée de 20 à 25 kilomètres.

Et une autre du poids de 7 à 8 tonnes marchant à la vitesse de 8 à 10 kilomètres et plus spécialement réservée aux trains de marchandises.

Ces machines sont pourvues, comme les wagons de deux roues d'axe reposant sur le rail. La roue d'avant est mobile et peut s'élever ou s'abaisser de manière à diminuer ou à augmenter à volonté la charge sur les roues motrices suivant les exigences du profil, de la vitesse et du poids remorqués; c'est ainsi que si une machine atteint

à un train de 30 tonnes, par exemple, rencontre dnas son parcours une rampe de 5 centimètres par mètre, on chargera les roues motrices afin d'utiliser pour l'adhérence tout le poids de la machine.

Après avoir franchi cette rampe, le poids du train n'étant pas augmenté il devient évident que cette machine prendra sur le sol un excès d'adhérence qui s'oppose, dans une certaine proportion, à son roulement. On décharge alors les roues motrices du poids qu'elles portent en trop, et ce poids se trouvant reporté sur le rail on conçoit que la machine se déplacera facilement, et qu'il est apporté ainsi une grande économie dans la traction et dans l'entretien de la voie.

La faculté d'abaisser ou d'élever la roue d'avant permet en outre de rétablir l'horizontalité de l'eau dans la chaudière sur les rampes où le ciel du foyer pourrait se découvrir.

La machine du type de cinq tonnes coûte environ 16,000 fr., et peut remorquer en outre de son poids :

Sur palier.....	à la vitesse de	14	kilom.	50	tonnes brutes.
Sur rampe de 1 à 3 centim.,	— de	10	—	22	—
— de 3 à 5 —	— de	9	—	15	—
— de 5 à 7 —	— de	9	—	8	—
— de 7 à 9 —	— de	8	—	5	—

La machine du type de 7 tonnes et du prix d'environ 22,000 fr., peut remorquer en outre de son poids :

Sur palier.....	à la vitesse de	8 à 10	kilom.	90	tonnes brutes.
Sur rampe de 1 à 3	— de	6 à 8	—	30	—
— de 3 à 5	— de	6 à 8	—	20	—
— de 5 à 7	— de	6 à 8	—	10	—
— de 7 à 9	— de	6 à 8	—	8	—

Les chiffres que j'indique ici sont ceux déterminés par l'expérience acquise sur ma ligne d'essai.

On saisit de suite le grand intérêt qu'il y a pour une exploitation lucrative à ne point avoir de route présentant des rampes de plus de 3 centimètres par mètre.

Mon système de chemin de fer pas plus qu'aucun autre ne change les conditions du problème d'élévation, car dans le cas de rampes on n'est plus en face d'une traction à opérer, mais vis-à-vis d'un fardeau qu'il s'agit d'élever du plateau inférieur à la partie supérieure.

Les chemins de fer ne résolvent pas cette question puisque les locomotives actuelles malgré tout leur poids n'ont point encore assez d'adhérence pour franchir les rampes.

Tous les autres systèmes, quelque ingénieux qu'ils soient d'ailleurs ne résolvent encore qu'imparfaitement la question et n'en donnent pas surtout la solution économique.

Je puis dire qu'à part les systèmes funiculaires c'est-à-dire à traction de câble, mon système résout seul le problème d'une manière économique, car en employant une machine aussi légère que possible, prenant son adhérence sur le sol, le moteur n'emploie pas pour s'élever lui-même (comme dans les systèmes cités plus haut), la plus grande partie de la force qu'il développe.

Dans le même but d'économie, le matériel roulant est très-léger, de telle sorte que le poids mort élevé est le plus restreint possible.

Si donc le chemin projeté parcourt une route présentant de fortes rampes et qu'il fût possible, au prix de quelques sacrifices et en parcourant un chemin un peu plus long de les éviter, on ne doit pas hésiter à prendre ce parti ; le système comportant d'ailleurs le passage dans des courbes de cinq mètres de rayon.

Chaque projet de ligne renfermant des éléments différents, il est évident que je ne puis fournir ici que des aperçus.

Si les intéressés sont désireux de se rendre plus exactement compte des avantages qu'ils auraient à appliquer un système de transport économique, je ne puis que les engager à venir se rendre compte de la réalité des faits que j'avance, et à me confier les études des communications qu'ils projettent.

Pour mieux fixer les idées, je donne ci-après le projet d'une ligne de 20 kilomètres à établir sur bas côté d'une route, avec une longrine du côté du fossé ; le trafic journalier se composant de 40 tonnes de marchandises et de 80 voyageurs.

Pour satisfaire à ce trafic, nous supposerons un service journalier de quatre trains mixtes par jour, dans chaque sens, marchant à la vitesse de 20 kilomètres. Nous aurons ainsi par jour, pour les deux sens, 160 kil. de trains exigeant huit heures de travail, auxquelles il faudra ajouter les temps d'arrêt et de repos. Le service exigera donc une seule machine en feu, laquelle sera suppléée par une à la réserve ; un seul jeu de train suffira et se composera de :

1 wagon voyageur, 20 places.	Tare	2000,	soit poids total...	3,500
1 fourgon messageries.....	—	2000	—	4,000
1 wagon marchandises.....	—	1000	—	5,000
				12,500

Les trains bruts y compris la machine pèseront donc 17.500, la ligne peut donc être supposée exploitée avec des rampes de 3 à 4 centimètres.

Pour parer aux éventualités, il sera nécessaire d'avoir un jeu de train en double, et encore 1 voiture à voyageurs et 2 wagons à marchandises.

L'effectif du matériel se composera donc de :

2 locomotives, 5 tonnes, à 16,000 fr.....			32,000
3 voitures à voyageurs, 20 places	à	4,500.....	13,500
2 wagons messageries	—	à 3,000.....	6,000
3 wagons plates-formes	—	à 2,500.....	7,500
			59,000
A ce chiffre il faut ajouter, pour ateliers et outillages.....			11,000
Total du matériel.....			70,000

Le prix de la voie, ainsi que nous nous l'avons dit plus haut, si l'on admet la longrine du côté du fossé, est d'environ 9,800 fr.

Soit pour les 20 kilomètres.....	196,000
Ajoutons pour gares, bureaux, etc.....	4,000
Prix de la voie.....	200,000

Le capital de premier établissement se composera donc de :

La voie.....	200,000
Le matériel.....	70,000
Capital.....	270,000

Nous résumerons ainsi les dépenses journalières de l'exploitation :

Combustible, environ 4 kilog. par kilomètre, 160 kilomètres donnent 640 kilos, à fr. 30, soit..	19f 20
Graissage et chiffons 2 fr. par jour	2 »
1 mécanicien-chauffeur	5 »
1 chef de train	3 25
3 cantonniers	9 »
2 ouvriers mécaniciens, pour l'entretien courant	10 »
2 hommes de gare	6 50
Soit par jour	54 95
Et par année	20056, 75

Soit par kilomètre de ligne et par an..... 1028 37

A ce chiffre il faut ajouter annuellement :

Pour entretien et renouvellement du matériel, 10 pour 100 de sa valeur	7,000 »
Pour entretien de la voie, 200 fr. par kilomètre	4,000 »
Soit total des frais d'exploitation	31056, 75
Il faut tenir compte de l'intérêt du capital de premier établissement, à 5 pour 100, soit	13,500 »
Et de l'amortissement à 2 pour 100	5,400 »
Total des dépenses	49,956 75

Résumons les recettes :

80 voyageurs par jour parcourant les 20 kilomètres, à raison de 0 fr. 08 le kilom., ɔit 1 fr, 60 par voyage.

Produit par an pour les voyageurs	46,720 »
Les marchandises, à raison de 0 fr. 12 c. par tonne et par kilomètre, produisent par jour 96 fr., soit annuellement....	35,040 »
Total des recettes	81,760 »

N. B. Sur la plupart des chemins d'intérêt local, ce prix de 0 fr. 12 peut être facilement ɔvé de 0 fr. 16 à 0 fr. 20, tout en apportant une économie de 40 p. 100 sur le transport *chevaux.*

En retranchant le chiffre des dépenses de celui des recettes, il reste un bénéfice 31,804 francs, qui promettrait de distribuer au capital un dividende de 11 fr. 77 ɔr 100, qui, ajouté à l'intérêt déjà servi, produirait 16 fr. 77 pour 100 au capital ɔagé.

L'exemple que j'ai pris comporte un trafic très-restreint, et cependant on voit il serait possible d'établir une ligne avec un chiffre de transport inférieur à celui j'ai supposé.

Quant à la description détaillée de mon système de chemin de fer et de ses principes, je prie de vouloir bien se reporter aux divers articles publiés dans l'*Illustration* (22 août 1868), le *Siècle* (18 août 1868), l'*Année illustrée* (20 octobre 1868), la *Liberté*, le *Peuple*, etc., et aussi de consulter les plans des wagons et machines que je joins au présent envoi [1].

(J. LARMANJAT.)

1. Voir planche 1, une réduction de ces dessins.

NOTE

SUR LES

NOUVELLES VOITURES A VOYAGEURS

DU CHEMIN DE FER DE L'EST.

PAR M. JULES GAUDRY.

Les voitures à voyageurs des chemins de fer ont été, dans nos séances et au dehors, l'objet de vives discussions au point de vue des justes exigences du public et de l'intérêt non moins légitime des compagnies, deux termes de la question qu'on ne devrait jamais séparer.

On a comparé les grands wagons américains communiquants, ayant entrées extrêmes, train articulé et dépendances de service, avec notre système anglo-français à compartiments distincts, ouvrant par côtés, à roues fixes et laissant à terre tout ce qui ne tient pas exclusivement au transport.

Les wagons à double étage sont également venus dans la discussion.

Répondant aux vœux de nos présidents qui invitent chaque Compagnie à faire connaître ici ses travaux et tendances, je viens appeler l'attention sur les progrès récents réalisés dans les voitures à voyageurs par la Compagnie des Chemins de fer de l'Est.

On sait que les principes fondamentaux de son matériel roulant sont les mêmes que ceux des autres compagnies françaises, à l'exclusion du système américain, et que les wagons suisses et allemands venant jusqu'à Paris ne diffèrent pas essentiellement des nôtres dans les organes d'attelage et de roulement, non plus que dans le gabarit de profil.

Mais, on sait aussi que la Compagnie de l'Est a construit en ses ateliers, pour les voyages de l'Empereur et pour divers souverains étrangers, des trains dits impériaux ou royaux, où les wagons communiquent et contiennent diverses installations de service et de confort à l'instar des trains d'Amérique.

Les wagons à double étage ont également dans le haut le couloir in-

térieur de bout en bout et les entrées extrêmes du type américain-suisse.

Celui-ci revient trop souvent dans les discussions sur le matériel des chemins de fer pour ne pas arrêter notre attention. Un fait se dégage d'abord de toutes les controverses : c'est que plusieurs lignes d'Europe avaient d'abord adopté le système américain et qu'elles y renoncent. L'essai d'un wagon de première classe à couloir intérieur au chemin de fer de l'Est n'a pas réussi auprès des voyageurs eux-mêmes ; sous l'impression d'une catastrophe célèbre ils y entraient avec empressement, et ils le quittaient, comme incommode, après deux ou trois stations. Dans la Suisse centrale seule, le système en question jouit de la même faveur marquée qu'aux États-Unis[1].

Je suis en mesure d'affirmer que les wagons de longueur réduite, avec châssis et 4 roues fixes, dont l'un était à l'Exposition de 1867, n'ont pas eu le succès promis, et qu'on revient carrément au type américain pur, non-seulement avec son passage commun et ses terrasses extrêmes, mais avec sa grande longueur et ses 8 roues en deux trucs mobiles ou bogies, sans châssis proprement dit sous la caisse.

Enfin plusieurs lignes d'intérêt local en France viennent d'adopter aussi le grand wagon à couloir et communication.

On est donc amené à conclure qu'il y a des circonstances données où le système américain-suisse a sa raison d'être. C'est pourquoi j'ai cru devoir réunir, en ce qui le concerne, les documents précis dont on a regretté le défaut dans nos discussions précédentes. Je dépose sur le bureau un dessin envoyé officiellement de l'atelier central d'Olten, et je résume les dimensions principales dans un tableau comparatif où sont aussi le nouveau wagon suisse qu'on a vu à l'Exposition et les deux wagons de l'Est, qui sont l'objet principal de la présente communication.

Ces documents compléteront le dossier des études de la 20e section sur l'Exposition de 1867 et le résumé qu'en a dressé notre secrétaire Morandière.

A la présente note est simplement joint (Pl. 12) une vue en diagramme du wagon suisse à 8 roues (3e classe), partie en élévation extérieure, partie en coupe, laissant voir la disposition intérieure. Chaque wagon est muni d'un frein à vis agissant sur toutes les roues.

[1] Dans la discussion qui a suivi cette note, M. Nordling a observé que dans le Wurtemberg ces grands wagons sont de même entrés dans les mœurs, très-appréciés et bien appropriés aux convenances locales.

Tableau comparatif des dimensions des wagons américains-suisses et wagons du Chemin de fer de l'Est français. — 3e classe.

DÉSIGNATION.	Américain SUISSE. 8 roues.	SUISSE. Nouveau 4 roues.	EST.	EST A 2 ÉTAGES.	
				Bas.	Haut.
Nombre total de places	72	44	50	80	
Longueur extrême	14m.26	8m.82	8m.16	9.10	
Longueur intérieure de la caisse	11 .44	7 .11	7 .84	7m.84	7m.20
Largeur à la ceinture de la caisse	2 .67	2 .67	2 .65	2 .65	2 .35
Hauteur sous plafond de la caisse	2 .14	2 .14	1 .80	1 .65	1 .65 / 1 .25
Poids (à vide) de la voiture	11t	7t.5	7t	7t.45	
Par voyageur.					
Espace ou volume d'air	0mc.93	1 .05	0 .70	0 .55	0 .35
Baies latérales ouvertes	0mq.092	»	0 .14	0 .13	0 .16
Largeur d'assise	0m.42	0 .42	0 .45	0 .45	0 .45
Poids mort du véhicule	153k	170	140	93	
Pour un train pour 450 voyageurs.					
Nombre de voitures	7	11	9	6	
Longueur du train	99 .80	97 .02	76 .44	54.60	
Poids mort du train	77t	82 .50	63 .00	44.70	
Nombre de roues	56	44	86	24	

On remarquera que, pour les 450 voyageurs supposés, le train de l'Est est entièrement plein et qu'il faudrait ajouter une voiture pour le 451e à emmener. Partout au contraire, où le système américain-suisse existe, les voyageurs sont plus tolérants, grâce aux conditions mêmes du véhicule. Ceux qui ne trouvent pas place assis, restent debout ou circulent dans le couloir, sans trop se plaindre. On n'ajoute une voiture que dans les grandes gares principales et rarement pour un petit nombre de voyageurs restant à placer ; d'où il suit que, dans le tableau comparatif qui précède, le train suisse des 450 voyageurs supposés, bien qu'il reste 18 voyageurs non assis en outre des 6 voitures pleines, ne se composera souvent que de ces 6 voitures, réduisant la longueur à 85m et le poids mort à 66 tonnes dans la comparaison qui précède. Elle est donc moins au désavantage du système américain-suisse qu'il ne paraît d'abord, et sans méconnaître les objections qu'on lui oppose, mais sans les exagérer d'autre part, il faut reconnaître qu'il y a des circonstances locales où le public et les Compagnies ont pu se rencontrer dans la préférence qui lui a été accordée.

Le système américain-suisse est d'abord bien approprié à ces longs voyages du nouveau monde qui durent plusieurs jours à travers diffé-

rents climats et des déserts sans stations. Le train est alors nécessairement une maison roulante avec lits, buffet, promenoir, etc., y compris les bureaux de service. Son analogie est complète avec les bateaux à vapeur. Le mécanicien lui-même sur sa locomotive a besoin de cet abri complet avec aménagements, qui ont pu nous étonner à l'Exposition. Non-seulement tel sera sans doute le matériel roulant de nos futurs chemins de fer aux colonies, mais on applique déjà ces mêmes principes en tout ou en partie aux embranchements secondaires d'Europe, où les stations ne devraient consister qu'en une simple plate-forme pourvue tout au plus d'un hangard d'attente, sans personnel de gare, les agents du train faisant la perception en route, ainsi que le factage aux arrêts.

Le système américain-suisse paraît propre encore aux contrées à températures extrêmes. Ces grands véhicules sont bien ventilés sans artifice dans les chaleurs, et en hiver on les chauffe par des poêles au menu coke, à peu de frais, sans complication de service et sans danger.

Enfin leur faveur s'explique sur ces lignes de peu d'étendue, sans service de nuit, dans les contrées où la beauté des sites est une raison déterminante de voyage, comme en Suisse. Ces vastes véhicules si élevés, si bien ouverts par côté, où tous les voyageurs embrassent le paysage, même quand les châssis sont levés, sont appréciés des touristes avec lesquels il faut ici compter, et il a été reconnu qu'ils prennent tout autre mode de transport s'ils n'ont sur le chemin de fer que nos wagons anglo-français, dont on a dit : qu'avec eux on arrive, mais on ne voyage pas, du moins eu égard à l'inspection du paysage.

Quand nos Vosges et autres contrées pittoresques de France seront visitées comme la Suisse, on sera nécessairement amené à y exploiter les chemins de fer avec des voitures spéciales, du mode américain ou autre.

Il est donc vrai qu'il y a des données où le système américain même dans sa pureté a ses raisons de préférence.

Mais, en dehors d'elles, il paraît établi que le wagon anglo-français est par excellence le véhicule des grands voyages dans nos pays, et qui répond le mieux à ces exigences du public et des Compagnies qu'il faut, avons-nous dit, respecter également.

Entre ces termes opposés d'un même problème très-complexe, l'accord est difficile sans doute, mais non impossible avec le temps, témoin les wagons d'aujourd'hui comparés, je ne dis pas avec ceux de l'origine, mais avec ceux qu'on a construit il y a 10 ans et qu'il faut bien achever d'utiliser.

Il reste assurément des progrès à faire : l'instabilité des véhicules, l'absence de moyens pratiques de communication et de signaux d'alarme, le chauffage, l'éclairage, etc., appellent encore des améliorations, et en ce moment même, la Société des Ingénieurs paraît saisie de plusieurs projets à cet égard.

La Compagnie de l'Est, dont le matériel n'a cessé de se perfectionner au point de vue du confortable des voyageurs de grandes lignes, a récemment introduit une série d'innovations après avoir envoyé jusqu'à l'étranger ses agents en tournées d'étude. Le matériel neuf qui les réunit comprend aujourd'hui 520 voitures des trois classes, plus 66 voitures à deux étages et 130 nouveaux fourgons à bagages à panneaux de tôle; le tout, non compris les commandes. Une assez forte partie de ce matériel a été construite dans les 3 ateliers de la Compagnie de La Villette, Charleville et Metz. Ce dernier comprend à lui seul 140 machines-outils dont 14 à travailler le bois sous toutes les formes. Les 3 ateliers, ayant leur ingénieur respectif, sont réunis sous la direction centrale de l'ingénieur de la carrosserie, M. Boutard.

Les nouvelles voitures de première classe, au nombre de 78, rappellent, dans leur forme extérieure à triple gondole peu accentuée, un type réputé en Angleterre dit du North-western. Elles diffèrent des précédentes voitures de la Compagnie de l'Est, d'abord par les dimensions augmentées que voici et qui atteignent dès à présent l'extrême limite imposée pour franchir les ponts et tunnels.

2m,13 de long par compartiment.	
2m,65 de largeur à la ceinture.	
Soit par voyageur.	0m,65
1m,90 de hauteur au milieu.	
10mc,44 de volume par compartiment.	
Soit par voyageur.	1m,30
6900 kilog. de poids total.	
Soit par voyageur.	287 kil.

En comparant ce poids à celui des voitures de première classe françaises que MM. Benoît-Duportail et Morandière relatent dans leur publication du Génie civil sur la carrosserie des chemins de fer à l'Exposition universelle, on remarque que la voiture de l'Est est loin d'être une des plus lourdes, même avec son excédant de dimensions en tous sens.

Ces voitures ont, comme d'usage en France, par compartiments : 6 fenêtres mobiles, des rideaux, filets, courroies, tapis, chaufferettes d'hiver en tôle plombée et rivée, un plafond-boiserie, une garniture en drap gris capitonné, des coussins de banquettes rembourrés de crin, le tout sans particularités nouvelles.

Peut-être pourrait-on discuter sur la largeur des banquettes qui est de 0,63 et sur leur hauteur qui est 0,43 ainsi que sur la garniture élastique avec ressorts, laquelle est proscrite chez nous et usuelle en Allemagne.

Il en est de même des petits châssis vitrés de part et d'autre de la portière et qui sont à demeure partout autre part qu'en France. Utiles sur

les lignes allant vers le Midi, on observe qu'ls sont partout ailleurs si rarement ouverts et si difficilement impénétrables à l'air glacial, qu'il faudrait peut-être supprimer cette complication du wagon à la manière allemande et anglaise, comme on a supprimé déjà dans les nouvelles voitures de l'Est le petit volet ventilateur et le châssis de portière en toile métallique, qui ne servaient jamais.

Une innovation appréciée consiste dans la faculté de relever l'accoudoir du milieu, en sorte que chaque banquette devient un lit, et il n'apparaît pas qu'on les détériore plus que d'habitude.

Enfin, dans une partie des voitures de la nouvelle série, l'un des compartiments extrêmes est un coupé à 3 lits proprement dits, qu'on élève et qu'on abaisse par bascule. Ils sont très demandés dans les trains de grande ligne, malgré la surtaxe de moitié en sus du prix courant de première classe, en sorte que leur augmentation notable de poids mort et de prix est compensée.

Les nouvelles voitures de deuxième classe, au nombre de 120, ont été plus radicalement transformées. La forme extérieure, à gondole unique peinte en 2 couleurs, noir et vert, très sobrement relevées de baguettes et filets; la garniture intérieure presque complète en drap bleu capitonné avec filets, rideaux, *accotoirs de tête à chaque place*, une lampe dans chaque compartiment et 6 fenêtres de même hauteur font de la voiture de deuxième classe presque l'égale de la première, sans que rien soit venu justifier cette absurde maxime d'autrefois : qu'il faut craindre de trop perfectionner les voitures d'ordre inférieur pour prévenir l'abandon de celles d'ordre plus élevé.

Pour la forme extérieure de la voiture, qui est la même que celle de troisième classe, (Voir Pl. 12). Suivent les dimensions de la nouvelle voiture de l'Est 2e classe à 4 compartiments :

1m,74 de longueur intérieure par compartiment.	
2m,65 de largeur totale à la ceinture.	
Soit par voyageur.	0m,53
1m,80 de hauteur au milieu.	
8mc,30 de volume total.	
Soit par voyageur.	0mc,83
7390 kilog. de poids mort.	
Soit par voyageur.	148 kil.

La voiture de troisième classe est celle qui se recommande le plus à l'attention. (Voir Pl. 12.)

On a vu ses dimensions dans le tableau comparatif qui précède. Sa forme extérieure à gondole unique ne diffère de celle de la deuxième classe que par la couleur du fond, qui est ici ocre jaune claire. L'intérieur est divisé en 5 compartiments, l'un avec cloison complète pour former au besoin compartiment de dames. Dans les autres, la cloison s'élève seu-

lement au-dessus de la tête. Les bancs et dossiers ne sont pas plus garnis qu'ailleurs; mais ils sont larges et cambrés à la mode anglaise, laissant un bel emplacement au-dessous pour les petits bagages de route. Chaque compartiment a, comme en première et en deuxième classe, 6 fenêtres mobiles de même hauteur et des rideaux; mais la principale innovation bien précieuse pour la nuit est un *accotoir de tête à chaque place*. Il existe 3 lampes pour les 5 compartiments. Enfin, à la différence des anciens wagons aux couleurs sombres, l'intérieur est peint en ocre claire vernie et lavée au besoin; il est d'expérience que le public les respecte dans la mesure espérée. Ainsi aménagée, la voiture de troisième classe est devenue un véhicule de *long voyage*, dont la comparaison n'a plus rien d'offensant, même avec la voiture de première classe, où le tarif des places est double.

On a vu que l'ensemble de ces nouvelles voitures se distingue par la sobriété de la décoration extérieure. Sans contester au matériel de l'Ouest (grande ligne) sa réputation de formes élégantes, il sera permis à la Compagnie de l'Est de dire aussi que ses nouvelles voitures ont réuni les suffrages de ceux qui recherchent le goût et l'harmonie des lignes dans les œuvres de carrosserie, et l'observation n'est pas sans valeur en un temps où le public français reprend l'estime générale de ces œuvres dont les Anglais font un si grand cas.

La construction de la caisse et du châssis à brancards des voitures de l'Est offre des particularités qui, sans être nouvelles, doivent être relatées comme expression des tendances de la Compagnie.

La carcasse de la caisse est en frêne pour les parties vues, et en chêne pour les parties couvertes; les pièces cintrées sont façonnées par découpage à la scie Perrin. Les cloisons et bancs sont en lisses de sapin emboîtées à rainures. Les panneaux extérieurs sont en tôle. On est revenu aux toitures en zinc, sauf pour le dessus contourné des voitures à 2 étages, qui sont en toile goudronnée-sablée.

Du travail des bois, rien à dire, si ce n'est que tout est fait mécaniquement par un outillage provenant presque en entier de Graffenstaden, à quoi s'ajoutent les scies à ruban du système Perrin.

Le desséchage des bois, cette question si capitale, a fait l'objet d'essais nombreux et peu réussis en pratique courante. Le plus simple sera probablement un jour d'envoyer faire à l'avance en forêt les provisions comme les administrations maritimes.

Dans la construction des châssis des voitures à voyageurs de l'Est, on a garni de bandes de tôle inclinées toutes les parties où pourraient s'arrêter les escarbilles embrasées sorties de la locomotive et qui ont déterminé des incendies de voitures en marche. Dans le châssis lui-même, on a conservé les traverses et la croix de Saint-André en bois; mais les deux brancards ou longerons sont en fer a double T, de 40 kilog.

au mètre courant, et selon le profil qu'indique la figure (Pl. 12), ainsi qu'il se pratique en Allemagne depuis 15 ans.

Les forges ne livrant pas encore ces brancards dressés, finis et de longueur fixe comme les rails, la Compagnie de l'Est a dû y appliquer un outillage spécial qui déjà travaille à Metz et existera bientôt à La Villette.

Les roues de l'Est sont toujours celles de l'origine, avec rais en fer à pincette, soudure à la jante sans autre faux-cercle et moyeu de fonte coulé en sable. Les roues disques ne sont pas employées aux voitures, et celles en fer d'une seule pièce par étampage, du système Arbelle, commencent à se répandre.

Les bandages et les essieux en fer de Niederbronn sont la règle. Il y a eu et il y a encore un certain nombre de pièces en métal Bessemer, et on ajoute en ce moment aux aciers de toutes les provenances connues ceux de bandages en acier suédois. (Voir en la planche le profil du bandage dernier type.)

La paire de roues montées et neuves pèse en ce moment en moyenne 815 kilog.; les fusées ont 80 millim. de diamètre sur 160 de longueur. Tout le matériel voiture est pourvu de boîtes à huile du système Dieu ou Delannoy, plus un certain nombre de boîtes Piret à relèvement d'huile par hélice. Mais les voitures à double étage ont la boîte Basset à filtrage d'huile.

Les appareils additionnels des voitures à voyageurs ont fait, à l'Est comme ailleurs, l'objet d'une multitude d'essais; des freins de toute nature ont été mis en pratique : les freins Stilmant sont appréciés et le nouveau système automoteur de Doré et Lefèvre est admis à entrer en service.

Les appareils de communication dans les trains, électriques ou pneumatiques, les signaux d'alarme à la disposition des voyageurs ont été et sont encore appliqués avec un succès contestable en pratique courante. Pour l'éclairage et le chauffage, nous n'avons rien de neuf. Quant aux water-closets, si souvent réclamés, on en avait pourvu tous les trains express. Un cabinet avait été ménagé à cet effet dans l'épaisseur des fourgons à bagage. Ils n'ont jamais servi, et des voyageurs ont préféré rester en route à la station en abandonnant le train qui ne pouvait attendre.

Un dernier mot sur la voiture à double étage. Je ne rentrerai pas dans la discussion dont ce système a été l'objet, et je résumerai simplement les faits d'application qui sont propres à la Compagnie de l'Est.

Depuis plusieurs années elle avait sur la ligne de Vincennes les voitures à impériale couverte, à très-peu près comme la banlieue de l'Ouest. Les voitures à double étage proprement dit, actuellement livrées, sont au nombre de 66; elles desservent les embranchements d'Alsace, la section de Pepinster à Spa où elles sont très-appréciées, les lignes de la banlieue parisienne dont la principale, celle de Coulommiers a la longueur de

respectable de 78 kilomètres. Aucune application n'a été faite aux trains express, ni même aux trains omnibus de grande ligne.

Quant à la forme, elle a jusqu'ici assez varié dans les détails. La moitié de la série contient un ou plusieurs compartiments de première ou de deuxième classe; dans l'autre moitié, les 80 places appartiennent à la troisième classe seule. (Voir Pl. 12.)

Dans le dernier modèle, on remarque le robuste système qui relie les plaques de garde ainsi que les extrémités des brancards recourbés. Le tableau comparatif donné au début de la présente communication complète les données relatives au wagon à double étage et termine les documents que vous avez bien voulu entendre sur le nouveau matériel de la Compagnie de l'Est.

MÉMOIRE

SUR

LES CONDITIONS DE TRAVAIL ET LES UTILISATIONS

DES

MACHINES A VAPEUR MARINES

PAR MM. BENJAMIN NORMAND ET A. MALLET.

INTRODUCTION.

Dans l'étude que nous venons soumettre à la Société des Ingénieurs civils, nous nous sommes donné pour tâche de résumer les lois qui gouvernent le fonctionnement des moteurs à vapeur, d'établir celles qui dominent spécialement le travail des machines marines, et de faire un tableau fidèle des progrès qui ont été effectivement réalisés dans les diverses parties[1].

Sans cesser de nous tenir en accord avec les principes théoriques les mieux établis, c'est surtout aux résultats pratiques, sanctionnés par des applications nombreuses et prolongées, que nous avons demandé nos lumières et nos arguments.

Les faits que nous avons recueillis, les expériences auxquelles nous avons pris part, les innovations que nous avons accomplies personnellement, nous ont mis à même d'établir, pour chacun des principaux caractères de la machine marine, la valeur relative des divers modes de fonctionnement usités aujourd'hui et les degrés, encore très-inégaux, de perfection qui sont atteints dans les principaux centres de construction de l'ancien et du nouveau monde.

1. Dans le présent travail, et sous peine de le rendre incomplet, nous avons dû reproduire les observations que nous avions présentées précédemment, en diverses reprises, à la Société des Ingénieurs civils, notamment dans les séances des 18, 25 octobre et 15 novembre 1861.

Les conclusions qui s'imposeront ensuite indiqueront les conditions, si étonnamment améliorées, dans lequelles doivent, désormais, être établis les appareils moteurs de la marine nouvelle.

Il est superflu de faire ressortir l'intérêt qui doit s'attacher à la bonne constitution d'un agent, chaque jour plus prépondérant dans la navigation commerciale, en même temps qu'il est devenu le moteur presque exclusif du navire de guerre. D'ailleurs l'étude des résultats obtenus dans les machines marines offre à tous les ingénieurs un vaste champ de comparaisons et de renseignements, non pas tant par les proportions incomparables des applications modernes de la machinerie navale, que par les utilisations supérieures des matériaux, des forces et de l'espace, qui sont la loi dominant tout ce qui appartient au navire.

Si l'on considère en lui-même l'objet de la machine marine, lequel consiste uniquement à produire de la force motrice incorporée dans la rotation d'un arbre (en réservant les questions mixtes de la propulsion, qui dépendent plus particulièrement du navire), on doit reconnaître que le problème est essentiellement simple, et qu'il fournit dans ses résultats, toujours et rigoureusement comparables entre eux, les éléments de la plus facile et de la plus exacte appréciation.

Au point de vue de la théorie, les principes généraux du fonctionnement de la machine à vapeur sont, tout à la fois, simples, certains et peu nombreux. Sans vouloir contester l'importance future des clartés récemment entrevues sur les lois intimes de la thermodynamique, il faut bien reconnaître, cependant, que les éléments essentiels de la première forme réalisée de la machine à feu avaient été établis, dès ses débuts, par Watt et ses continuateurs, Hornblower et Woolf, avec une exactitude qui a suffi à près d'un siècle d'applications, et à la plus grande transformation industrielle que le monde ait encore vue.

Les étonnants progrès réalisés, dans ces dernières années surtout, dans les machines marines, n'ont pas eu en effet d'autre base que le développement ferme et continu de ces principes, et l'élimination successive des difficultés pratiques qui avaient longtemps fait obstacle à l'extension et à l'application plus large des trois éléments capitaux de l'excellence des machines à vapeur : la *pression*, la *détente* et la *vitesse*.

Dans une situation si complétement éclairée pour tous ceux que n'aveugle pas l'esprit de secte, et malgré l'importance évidente que présente l'élaboration rationnelle des machines marines, au point de vue de notre état commercial et de notre puissance politique, il est pénible d'avoir à constater que cette question a toujours été maltraitée dans nos régions officielles, et que le progrès maritime, aussi bien que le progrès industriel, n'a pas eu dans notre pays d'ennemis plus constants que ceux-là même qui avaient été institués pour sa défense.

Ainsi qu'il avait été fait pour toutes les parties de la science du Navire, des écrits déplorables ont complétement jeté l'étude de la machine

marine hors de sa voie régulière, et jamais elle n'a été, plus qu'aujourd'hui, environnée d'obscurités et d'erreurs, qui n'atteignent pas seulement, comme on devrait le penser, les éléments pratiques, mais offensent grièvement les lois théoriques les mieux établies [1].

En l'absence de toute méthode de classification ou d'analyse et dans le chaos de tous les éléments de la question, on est parvenu à faire croire au plus grand nombre, qu'un emploi insensé de formules algébriques et une insistance déplorable à commenter, *usque ad nauseam*, des variations d'arrangement et de détails de nulle importance constituent toute la science de la Machine à vapeur ; en même temps les vraies divisions et les bases des calculs fondamentaux ne sont même pas indiquées, et les déductions immédiates des lois les plus certaines de la Physique restent absolument méconnues.

Dans l'ordre des faits, dans ce grand domaine de la pratique formé de réalités complètes, et non pas de fictions et d'abstractions de fantaisie, notre Génie maritime a éprouvé l'humiliation d'assister aux grandes transformations de la machime motrice sans y avoir pris d'autre part que d'en avoir constamment méconnu la valeur et combattu la réalisation. Vaincu aujourd'hui par la masse des faits contraires à ses doctrines, il croit pouvoir lutter encore par le silence contre les progrès dont s'avantagent de plus en plus nos rivaux et nos ennemis, et il voit sans s'émouvoir grandir la distance qui nous sépare des peuples plus avancés.

On sait les mécomptes répétés qui, dans notre marine militaire, ont été le fruit de la domination exclusive et ombrageuse du Génie maritime, l'infériorité, incontestable aujourd'hui, des appareils moteurs de notre flotte, et les résultats désastreux de son influence dans l'élaboration du premier matériel de la Compagnie générale transatlantique. Dans cette circonstance, une perte qui n'a pas été moindre de 60 à 70 p. 100 sur les utilisations normales du combustible, des poids et du capital, a montré ce que vaut l'indifférentisme de ces théoriciens faciles à satisfaire, et qui, malgré leurs minuties et leur affectation scientifique, concluent presque toujours à ce que tous les systèmes sont équivalents, ou du moins que les différences entre les résultats sont de nulle importance.

Ce n'est pas sans un profond regret que nous sommes obligés dès le

[1] Extrait du cours de machines à vapeur professé à l'École du génie maritime.

« La machine à vapeur à haute pression se trouve réduite à une extrême simplicité par la suppression de la pompe à air. On perd, il est vrai, *un peu* de travail en sacrifiant la condensation, mais on le regagne d'un autre côté par l'emploi d'une pression plus élevée et d'une plus grande détente, et il ne paraît pas que les machines à haute pression, sans condenseur, consomment beaucoup plus de charbon que les machines à condensation. »

C'est la première fois sans doute que la condensation, qui a donné le jour à la machine à vapeur, est accusée de jouer un rôle insignifiant quant à l'utilisation du combustible, et d'apporter une restriction à l'emploi de la détente.

début de ce travail de laisser refléter dans l'étude et la discussion scientifique la lutte violente qui, dans notre pays, est engagée contre les vrais progrès.

Nous n'avons rien épargné pour éviter ces extrémités; mais devant les dangers d'une telle situation, les défis incessants portés par les théoriciens officiels aux hommes de travail et les injustices dont nous avons été personnellement victimes, il ne peut nous rester d'autre alternative que d'engager résolûment le débat.

I

Considérations générales sur la propulsion maritime.

Nous ne voulons étudier dans ce Mémoire que les *quatre* fonctions, séparées et successives, dont l'ensemble constitue la production, plus ou moins économique, de la force motrice, savoir : *la combustion, la vaporisation, l'expansion et la transformation.*

Mais pour préciser l'étendue et les limites des questions que nous aurons à examiner, nous croyons opportun de bien définir d'abord toutes les opérations de la combinaison desquelles résulte la *propulsion navale.*

Nous avons exposé chacune d'elles dans le tableau ci-contre, et nous les avons définies et groupées dans l'ordre où elles interviennent dans le cycle du *transport maritime.*

En outre de l'ordre et de la clarté que cette analyse doit introduire dans la discussion, nous en retirerons un autre avantage. En indiquant, par avance, les limites pratiques entre lesquelles, ainsi que nous le démontrerons dans ce Mémoire, varient les utilisations réalisées, pour chaque fonction, par les divers systèmes de construction en usage, nous établissons l'importance que présente l'étude de chaque partie. Nous montrerons comment ces *neuf* ordres de considérations ou fonctions successives se multiplient entre elles pour constituer l'utilisation finale.

Nous redresserons, par là, cette méprise si généralement répandue, qui conclut à la faible portée des améliorations dont la machine marine était et est encore le plus souvent susceptible, et nous donnerons la solution de ce qui apparaît à presque tous comme une énigme : l'utilisation finale *quintuplée* et les vitesses moyennes de navigation élevées, sans

accroissement de dépense, de 30 à 40 p. 100 au delà des limites que les prétendus maîtres de la science avaient si récemment encore déclarées infranchissables [1].

Qu'on ne vienne pas alléguer que la réunion dans un même bâtiment des diverses pertes d'effet partielles est une supposition de fantaisie. Dans le navire, aussi bien qu'ailleurs, les fautes s'enchaînent, et souvent les dernières n'ont absolument d'autres causes que les premières qu'on n'a pas su éviter. C'est ainsi que les mauvaises conditions d'emploi de la vapeur dans les machines aggravent tous les éléments de travail des chaudières, que les poids excessifs de l'appareil moteur et du combustible imposent des accroissements de dimensions et de poids pour les coques, et de mauvaises formes détériorant, à leur tour, l'utilisation de la carène.

1. *Navires à grande vitesse.* — « Le *la Touche-Tréville*, 10 nœuds; le *Bougainville* 10ⁿ.16; le *Laplace*, 10ⁿ.45; le *Caton*, construit en fer (1846), atteignit des vitesses à 10 nœuds *avec sa mâture et son artillerie!* Mais la nature de sa construction le rendait complétement *impropre au service militaire!*

« Dans les bâtiments nouveaux, tout a été sacrifié à l'élément vitesse... Grâce à ces sacrifices, on a obtenu de beaux résultats.

« Ainsi on voit plusieurs bâtiments qui ont atteint et même dépassé des vitesses de 12 nœuds (*Anacréon*, *Bertholet*, *Éclaireur*); 11ⁿ.60 (*Prony*); 12ⁿ00 (*Mogador*). Mais les approvisionnements de charbon ne sont que de trois à cinq jours au maximum, les distances franchissables sont faibles; enfin les chargements prévus ont été réduits à des quantités tellement minimes que, lors des armements définitifs, elles ont dû être dépassées. Il en est résulté des surcharges considérables faisant perdre à ces bâtiments la plus grande partie de leurs avantages de marche, les seuls dont ils soient doués! »

A l'époque où, d'après M. de Fréminville (1860), les vitesses de onze nœuds et même de dix nœuds excitaient de tels transports d'admiration dans le Génie maritime, il y avait douze ans que des vitesses de *quinze nœuds* avaient été dépassées, dans les marines commerciales.

[illegible] D'UTILISATION FINALE DES NAVIRES A VAPEUR.

	CLASSIFICATION DES FONCTIONS SUCCESSIVES DES DIVERS ORDRES D'UTILISATION.			RAPPORTS des utilisations moyennes des anciens types avec les utilisations réalisables.	
A.	Utilisation du combustible. ..... *Production de la force motrice*.....	1° *Combustion*.....	Production de la chaleur.....	0.90	0.41
		2° *Vaporisation*.....	Transformation de la chaleur en vapeur utilisée.....	0.80	
		3° *Expansion*.....	Développement de l'action de la vapeur.....	0.60	
		4° *Transformation*.....	Conversion mécanique de la force appliquée sur les pistons en mouvement circulaire.....	0.95	
B.	Utilisation du propulseur..... *Tranformation de l'effort circulaire en traction longitudinale*.....	5° *Transformation propulsive*....	Conversion du mouvement circulaire en traction longitudinale.....	0.95	0.90
		6° *Utilisation de la vitesse*.....	Atténuation du recul du propulseur.....	0.95	
C.	Utilisation de la carène..... *Transformation de la traction en poids transporté*.....	7° *Poids brut propulsé* en fonction de la grandeur et de la vitesse.....	Atténuation des résistances directes, et du frottement de la carène.....	.....	0.90
D.	Utilisation des poids transportés...	8° *Poids utile* transporté.....	Réduction des poids morts....	.....	0.70
E.	Réalisation des avantages de la grandeur des carènes [1].....	9° Transformation possible des économies effectuées sur les dépenses de la force motrice, en accroissement de la *dimension* des carènes [1].....		.....	0.60
	Utilisation finale, observée sur un grand nombre de navires, comparativement à celle *réalisable*.....				0.140

1. Pour un déplacement *doublé* et un port utile généralement *triple*, la puissance nécessaire pour la propulsion, à la même vitesse, n'est que *un et demi*. Dans ce cas, l'économie sur la traction est *moitié*.

Appuyons nos conclusions par des exemples.

Les paquebots de la Compagnie transatlantique, le *Napoléon III* et le *Péreire*, ont la même capacité de transport utile pour voyageurs et marchandises. Les utilisations sont évidemment proportionnelles aux cubes des vitesses de service, 10 nœuds pour le *Napoléon III*, et 14 nœuds pour le *Péreire*, soit 1,000 et 2,744.

La dépense du combustible étant 1600 tonnes pour le premier, et 800 tonnes pour le second, l'utilisation finale est comme 1 à 5 1/2.

Autre exemple : dans la marine impériale, le *Roland* est un aviso de 400 chevaux, à grande vitesse, c'est-à-dire que par beau temps il file 10 nœuds. Il ne porte rien, consomme beaucoup et ne peut s'aventurer loin des dépôts de charbon.

Des constructeurs du commerce ont proposé au Ministre de la marine des avisos de 250 chevaux, ayant une capacité utile et un rayon d'action double de ceux du *Roland*, ne coûtant et ne dépensant que les deux tiers du susdit bâtiment, et réalisant une vitesse certaine de 15 nœuds. L'utilisation du capital et des dépenses serait ainsi

$$:: \frac{10^3}{1,5} : 15^3 \times 2;$$

soit, comme 1 est à 11.

Avons-nous besoin de dire que l'aviso perfectionné a été repoussé par le génie maritime. Quant au *Roland*, qui est plus que jamais regardé comme un excellent bâtiment, on vient de dépenser 250,000 fr. pour le refondre et lui assurer un bel avenir. Trois mois après on l'a fait relever, de la côte de Syrie, à grands frais, et on a perdu ainsi l'occasion qui s'offrait de le démolir pour rien.

Dans de futures communications, nous espérons avoir l'honneur de présenter à la Société un travail sur les utilisations des propulseurs, sur celles des carènes et autres questions dépendant du navire. Pour cette fois, nous avons dû seulement indiquer leur place dans l'organisation du *transport maritime*.

Pour cette fois, les questions que nous aurons à étudier comprennent les quatre fonctions formant le premier groupe : *Production de la force motrice*. Mais nous aurons à examiner aussi l'influence capitale de la réduction des poids morts de la machine et du combustible, rendant possible la réalisation de vitesses ou de parcours, qui autrement seraient complétement inaccessibles. Cette partie est une des plus importantes de celles que soulève l'étude de la machine marine.

II

Le problème de la détermination du meilleur système de machine marine, pour chaque genre d'application, se résume toujours et essentiellement dans la recherche du maximum totalisé des trois ordres d'utilisation ci-après :

1° Utilisation du combustible;

2° Utilisation des poids et des espaces;

3° Utilisation des dépenses de capital, d'entretien, de personnel et de frais accessoires de service.

Nous étudierons successivement chacune de ces questions; mais nous devons préalablement fixer la nature et l'unité de la puissance auxquelles doivent être rapportées les diverses utilisations.

Nous éprouvons quelque embarras en demandant à prouver que la puissance à laquelle doivent être exclusivement rapportés toutes les données et les résultats d'une machine est la *puissance effective* réalisée dans le fonctionnement propre de cette machine même, et non pas une puissance nominale, fiction commerciale et toute de convention, qui ne peut, à aucun titre, entrer dans l'appréciation sérieuse des effets utiles obtenus.

Cette conclusion, malgré son évidente nécessité, a été l'objet de si étranges oppositions, et l'adoption du système contraire amène encore aujourd'hui tant d'erreurs et mêmes de fraudes, que force nous est de déblayer d'abord la question des malentendus qui l'obscurcissent[1].

1. Voici un spécimen des raisons sur lesquelles s'appuie l'École du Génie maritime pour maintenir la mesure au cheval nominal.

« Le poids des mécanismes est rarement un défaut; il est nécessaire de leur donner de grandes masses pour qu'ils ne soient pas sujets à des vibrations qui sont on ne peut plus nuisibles à leur fonctionnement.

« Le poids par cheval doit être rapporté à la puissance nominale plutôt qu'à la puissance indiquée en chevaux de 75 kilogrammètres. En effet, la perfection plus ou moins grande de l'appareil entraînera une réduction de poids absolue par unité de volume ou par cheval nominal, tandis que la puissance effective variant avec la pression et pouvant croître dans une assez forte proportion dans une machine dont le mécanisme n'éprouverait aucun changement, le poids par cheval effectif diminuerait dans le même rapport et semblerait indiquer un mécanisme très-léger, tandis que le poids par cheval nominal ne changerait pas et pourrait même augmenter dans certains cas. Ce sera donc le poids par cheval nominal qui servira de terme de comparaison pour la masse et la solidité des appareils. »

C'est par ces splendides raisonnements que notre Génie maritime croit nous démontrer qu'un mécanisme du poids de 800 tonnes, produisant 3000 chevaux effectifs, est tout aussi bon qu'un mécanisme du même poids fournissant 6000 chevaux.

Le poids par cheval nominal est le même, mais quelle supériorité au point de vue de la masse.

III

Des moyens de mesurer la puissance des machines.

La question de l'unité de puissance, à laquelle doivent être rapportées les diverses utilisations des machines marines, comprend deux points distincts : le mode de mesurage et l'unité de comparaison à fixer.

L'appréciation exacte de la puissance réalisée dans les machines à vapeur peut être obtenue par deux genres d'appareils : d'une part, l'indicateur de Watt ; de l'autre, le frein de Prony et les dynamomètres de transmission.

L'indicateur de Watt constate le travail intérieur et absolu de la vapeur sur les pistons, et fournit, avec une appréciation de 1 à 2 centièmes, une mesure de la puissance brute, résistances passives non-déduites.

Le frein de Prony indique la force nette disponible, c'est-à-dire la puissance brute diminuée des résistances passives du fonctionnement et des frottements des organes de la transformation des mouvements. La force nette est donnée par le frein avec une précision absolue.

Mais il présente l'inconvénient de ne fournir qu'une mesure indirecte, sorte de double pesée exigeant des travaux et des dépenses considérables, et ne se prêtant aucunement aux observations *continues* relatives aux variations du travail courant. Le frein de Prony, presque inapplicable pour les grandes puissances, n'a jamais été, pensons-nous, employé aux observations des machines marines.

On a aussi employé pour la mesure du travail des machines marines des dynamomètres de torsion, devant donner la mesure continue de la force nette transmise par les organes de communication du mouvement. Les appareils les plus renommés de ce genre sont ceux construits par M. Taurines pour la marine impériale; ils ont permis d'approfondir certaines parties très-intéressantes du fonctionnement des machines marines : la perte de puissance par les frottements et celle accompagnant la transformation de l'effort dans le propulseur. Mais leur complexité en a restreint les applications, et ne permet pas d'en retirer des services comparables à ceux de l'indicateur. La supériorité des dynamomètres sur ce dernier, au point de vue de l'exactitude, est d'ailleurs très-contestable.

Nous avons fait nous-mêmes des expériences nombreuses sur la question du rendement des machines en puissance nette. Des observations simultanées au frein et à l'indicateur nous ont fourni des rapports qui n'ont jamais été au-dessous de 0,80, et qui dans les machines à longue course se sont élevés jusqu'à 0,85.

Au point de vue le plus rigoureux, l'indicateur de Watt établit le *travail*

actuel de la vapeur ; l'indicateur ne présente pas seulement l'avantage d'en fournir la mesure facile et continue, mais, par dessus tout, il permet de scruter toutes les phases du fonctionnement de la machine, et il en révèle les moindres imperfections. C'est, guidés, à chaque pas, par l'indicateur, que les ingénieurs de la machine marine ont si heureusement accompli la transformation des anciennes et lourdes machines à roues en machines rapides, plus parfaites, même au point de vue du fonctionnement.

Disons en passant que les services de l'indicateur ne se sont pas bornés à l'élaboration de la machine marine ; les questions complexes des propulseurs et des carènes lui sont redevables de leurs données essentielles.

Dans toutes les opérations où des mesures exactes et directes ne peuvent être obtenues, on comprend la nécessité de recourir à des formules générales fournissant une mesure d'approximation. Mais nous venons de montrer qu'il n'en a jamais été ainsi de la machine à vapeur, et nous ne chercherons pas à expliquer l'incroyable persistance avec laquelle les corps savants se sont constamment evertués à substituer, à la mesure *directe* et *rigoureuse* de la puissance, des formules qui, ne tenant aucun compte des éléments les plus intéressants du fonctionnement, ne donnaient qu'une appréciation grossière, et non-seulement ne laissaient apercevoir aucune nuance entre la plus parfaite et la plus détestable machine, mais encore attribuaient parfois une révoltante supériorité à ces dernières, sur les bons appareils. Nous verrons plus loin jusqu'où se sont étendus les inconvénients de ces formules de jauge, objet de discussions si étendues que beaucoup ont dû croire qu'elles renfermaient toute la science de la Machine à vapeur.

IV

De la détermination de l'unité de puissance des machines marines.

Nous avons ici à étudier une question qui est de nos jours de la plus haute importance : la puissance réelle fournie par les divers types de machines, comparativement à leur force nominale. Malgré le dédain avec lequel plusieurs affectent de traiter cette question, nous devons l'examiner avec soin, car elle abrite des malentendus sérieux et même des erreurs scientifiques les plus graves.

Une véritable anarchie règne aujourd'hui sur ce point fondamental : l'unité de puissance, point de départ de toutes les appréciations de consommation, de poids et de prix de revient des moteurs ; en d'autres termes, le rendement commercial des machines en force effective.

Ce n'est pas dans les traités publiés en France sur les machines à va-

peur qu'on trouvera beaucoup d'éclaircissements sur cette question; car, parmi ceux qui ont entrepris d'en professer les principes, les uns se sont tenus, sur ce point, dans le mutisme le plus absolu; d'autres se livrant à des appréciations de fantaisie, et partant de ces suppositions, que la pression dans le cylindre est égale à celle de la chaudière, que celle-ci est toujours à son taux maximum, enfin que la force effective ne dépasse jamais la puissance nominale, sont arrivés à ces fameux effets utiles de 30 pour 100, avec lesquels on a élevé une génération de mécaniciens, et qui flottent en dérive, encore de nos jours, dans quelques traités de la machine à vapeur[1].

Les conséquences de cet état de choses sont tristes. Aujourd'hui rien n'est plus semblable à telle machine, dite de *cinquante* chevaux, que telle autre vendue ailleurs pour *cent*.

Des intérêts considérables sont compromis par cette confusion des langues qui offre trop de ressources à l'incapacité et même à la mauvaise foi. On pourrait citer des cas où des acquéreurs de machines, ruinés par les équivoques ou les malentendus que nous signalons, se sont vu appliquer la lettre de contrats, dont il leur avait été impossible de peser la signification et de prévoir la portée.

Pour apprécier complétement l'état de la question, il est nécessaire de

1. Nous reproduisons ci-dessous une de ces tables due à M. le général Morin, relative à l'effet utile des machines à haute pression à détente et à condensation.

FORCE DES MACHINES en chevaux de 75 kilogrammètres.	VALEUR DU COEFFICIENT k POUR LES MACHINES	
	en très-bon état d'entretien.	en état ordinaire d'entretien.
De 4 à 8 chevaux.	0.33	0.30
10 à 20 —	0.40	0.34
20 à 30 —	0.44	0.36
30 à 40 —	0.49	0.40
40 à 50 —	0.57	0.46
50 à 60 —	0.62	0.50
60 à 70 —	0.66	0.53
80 à 90 —	0.70	0.60
90 à 100 —	0.80	0.66

Il était difficile de supposer que tant de chiffres si minutieusement gradués n'avaient pas de base expérimentale, et ne reposaient que sur une méprise et une fiction. Quant aux énormes accroissements allégués du coefficient d'effet utile dans les grandes machines, la différence réelle est très-faible et rigoureusement serait en sens contraire. Les grandes machines sont certainement supérieures comme travail de la vapeur, mais presque toujours absolument inférieures comme valeur de la puissance nette comparativement à la puissance brute sur les pistons; en un mot les coefficients de frottements croissent avec la dimension des machines. Nous en établirons les preuves et les raisons.

remonter au début de cette grande industrie qui a pour objet la fabrication des instruments de la production artificielle de la force motrice.

James Watt eut cette heureuse pensée de définir la puissance des machines par une expression simple et intelligible pour tous. Les chevaux, attelés aux manéges des fabriques, qu'il venait remplacer, lui servirent de mesure. Il trouva que les meilleurs fournissaient un travail de 33,000 livres élevées à un pied de hauteur par minute (76 kilogrammètres par seconde). Cette unité légèrement diminuée est devenue la mesure légale en France, et elle est employée sans équivoque, et partant sans inconvénient, pour l'appréciation des forces hydrauliques.

Mais on ne saurait trop insister sur ce point, que la machine à vapeur a, dès le début, fourni un excédant notable de puissance comparativement à l'unité fictive, et que le cheval-vapeur a été, dès l'origine, constitué à un taux au-dessous duquel il n'a jamais pu être légitime de l'abaisser; alors surtout que la marche générale était incessamment dans le sens de l'agrandissement de la mesure.

Dans le but de compenser les résistances passives, imparfaitement appréciées alors, et de constituer une ample marge, Watt admit que l'équivalent net de la puissance moyenne de la vapeur sur les pistons était seulement de 7 livres par pouce carré (0^{k},49 par centimètre carré). Or, comme dès cette époque avec une pression sensible de vapeur de un tiers d'atmosphère, et une admission à 0,80, l'effort moyen de la vapeur sur les pistons mesuré à l'indicateur atteignait 11 livres, le travail brut sur les pistons ressortait à 150 killogrammètres par cheval nominal, ce qui avec un rendement qui ne peut être estimé à moins de 0,80, faisait ressortir la puissance nette sur l'arbre à 120 kilogrammètres, soit 1,60 cheval effectif par cheval nominal.

Pendant un demi-siècle, c'est-à-dire jusque vers 1840, l'unité de mesure établie par Watt a été observée sans variation par les constructeurs du monde entier, tant pour les machines fixes que pour les machines marines de tous systèmes, à basse et à haute pression. Cette assertion est appuyée sur des observations nombreuses faites par nous sur des machines anglaises à basse pression, et des machines à haute pression construites par notre éminent collègue M. Cavé, les unes et les autres construites de 1830 à 1840. Les machines de M. Cavé présentaient même un certain avantage de puissance.

Pour ce qui a trait aux machines fixes, les bons constructeurs, principalement de la province, ont continué et même étendu ces traditions de bonne livraison. En Normandie, les constructeurs garantissent aujourd'hui couramment *deux* chevaux de force nette par cheval nominal, et atteignent souvent 2 1/2, ce qui correspond à 200 ou 220 kilogrammètres sur les pistons.

En d'autres parties de la France, à Paris notamment, quelques constructeurs ont tenté de faire prévaloir des modifications inverses, et par

la dégradation des types sont parvenus à faire paraître bon marché ce qui est effectivement très-cher. La construction des locomobiles est venue encore renchérir sur ces errements.

Pour toutes les industries qui emploient les machines à vapeur, cette confusion et les abus qui en résultent ne cesseront que par la fixation, indispensable aujourd'hui, d'une unité légale du cheval-vapeur, laquelle, sans léser aucun intérêt avouable, ne saurait être fixée à moins de 150 kilogrammètres de force nette mesurée au frein.

Le développement de la navigation à vapeur présente un tout autre spectacle. A partir de 1840, et principalement sous l'impulsion magistrale de John Penn, la machine-marine fournit un accroissement considérable de puissance effective, et depuis cette époque ce mouvement ne s'est jamais arrêté ni même ralenti.

Les dimensions des machines ne sont pas modifiées; mais, tout d'abord, la chaudière tubulaire élève à 1 kil., par centimètre carré, la pression sensible de la vapeur qui, dans les chaudières à galeries, était d'un demi-kilogramme seulement, soit une augmentation d'*un tiers* dans la tension *absolue* de la vapeur.

L'accroissement de vitesse des bâtiments et par suite des machines, sous un effort de propulsion plus grand d'*un tiers*, apparaît alors dans la proportion d'*un sixième*, ce qui, au total, élève de 60 pour 100 les éléments de la puissance. En résumé, le rendement brut de toutes les machines marines anglaises dépasse en 1845, 225 kilogrammètres, soit *trois* chevaux *indiqués* par cheval nominal.

Les éléments de la puissance, la *pression* et la *vitesse*, continuent à s'accroître, en partie par la transformation propre des machines, aussi par l'allégement et l'affinement des coques contribuant à développer l'élément *vitesse*, et enfin par la substitution de l'hélice aux roues. Nous sommes à même de présenter un exemple saisissant des résultats amenés successivement en vingt années par cette accumulation de progrès, en prenant pour base de la comparaison trois types d'appareils de même puissance nominale, 160 chevaux, dont nous avons observé personnellement les résultats.

En 1838, le *Phénix* construit par M. A. Normand, avec machines par J. Barnes, avait des cylindres de quatre pieds anglais, $1^m,220$ de diamètre et de course, pression absolue 1 1/2 atmosphère, roues à aubes mobiles de seize pieds, $4^m,880$ de diamètre au centre d'oscillation des aubes; le nombre de tours était 25, la vitesse du bâtiment $10^n,80$, et le rendement en puissance brute 150 kilogrammètres.

En 1847, les paquebots *Brighton*, *Dieppe* et *Newhaven* avaient des machines de J. Penn, *ayant exactement les mêmes dimensions de cylindres et de roues* que le *Phénix*; mais la pression avait été portée à 2 1/4 atmosphères, et le nombre de tours de 25 à 37 (pour 15 nœuds). Le rende-

ment en puissance brute dépassait 300 kilogrammètres, soit *quatre* fois la force nominale.

En 1850, ce rendement était devenu normal chez les bons constructeurs anglais. Il était réalisé à la même époque dans une machine française du paquebot *le Cygne*, construite par M. Mazeline.

Enfin en 1858, sur le yacht royal de Prusse, *le Grillon*, construit par M. A. Normand, avec machines par John Penn, la substitution de l'hélice aux roues avait amené les changements extraordinaires que nous allons signaler dans les dimensions et les résultats.

Le diamètre effectif des pistons (machine à fourreau) était réduit à $1^m,120$, la course à $0^m,457$; mais le nombre de tours porté à 135, pour 15 nœuds, avait plus que compensé ces diminutions, et avec une pression absolue de 2 1/2 atmosphères, le rendement était élevé à 375 kilogrammètres, soit *cinq* fois la force nominale.

Nous verrons que cette grande transformation des machines marines ne s'est nullement ralentie de nos jours, et que le rendement de 450 kilogrammètres, soit *six* fois la force nominale, réglementaire dans la marine anglaise y est fréquemment dépassé.

De l'autre côté de l'Atlantique, l'esprit entreprenant et énergique des constructeurs américains les a toujours maintenus au niveau, et parfois même placés en avance des progrès accomplis par leurs confrères d'Angleterre, et lorsque le développement de la navigation à vapeur océanienne vint mettre en parallèle immédiat la valeur industrielle des deux grandes nations maritimes, les succès des paquebots Collins, et plus tard ceux du *Vanderbilt* et de l'*Adriatic*, ont été le résultat du grand développement de force effective obtenu par une savante utilisation des *poids* et du *combustible*.

Nous avons maintenant le devoir pénible de montrer comment le rôle de la France a été tenu dans cette lutte si importante pour nos intérêts et pour notre honneur.

La Marine impériale, qui, par sa situation prépondérante, imposa trop longtemps chez nous le ton à toute l'industrie des machines, n'est entrée qu'avec la plus incompréhensible lenteur dans la voie du développement de la puissance effective; elle lui a constamment fait obstacle en restreignant par une réglementation absurde les éléments qui pouvaient le favoriser; enfin elle a systématiquement persécuté ceux qui, en France, se tenaient à la tête du progrès, et elle se trouve aujourd'hui plus que jamais débordée par les marines étrangères.

Devant la grande transformation que nous venons d'esquisser, la marine anglaise avait adopté pour règle de maintenir invariables les anciennes dimensions des machines, eu égard à leur force nominale. Ces dimensions étant la base naturelle des éléments du prix de revient, on réalisait en avantage *net* le plein rendement des augmentations dans la

vitesse et la pression, *facteurs gratuits* ou compensés par les simplifications des mécanismes et les progrès généraux de l'industrie.

C'est ainsi que le cheval nominal ayant toujours coûté environ 1500 fr. (avec les propulseurs et accessoires), le prix de revient du cheval indiqué de 75 kilogrammètres sur les pistons a été abaissé, de 750 son taux primitif, d'abord à 500, puis successivement à 400, et enfin à 300 fr. !

Cette sage attitude a produit une heureuse émulation entre les constructeurs anglais. Penn, Maudslay, Ravenhill et Napier n'étaient pas, comme ils l'eussent infailliblement été chez nous, obligés de contenir et de limiter les ressources et les éléments dont ils disposaient, dans la crainte d'éveiller les jalouses susceptibilités des concurrents officiels chargés de les contrôler.

Au surplus, le Génie maritime avait pris les mesures les plus énergiques pour qu'aucune avance individuelle ne pût troubler l'uniformité des résultats autorisés, et dépasser le niveau médiocre qui devait être notre lot désormais.

Afin d'arrêter toute tentative indiscrète d'améliorations dans l'emploi du combustible, la Marine impériale avait adopté pour principe : *la mesure de la force par la dépense.* 30 kilogrammes de vapeur, accusés par l'indicateur dans le cylindre par heure, furent réputés la jauge du cheval nominal. Quant à l'utilisation de cette vapeur, la formule ne s'occupait pas de ce détail. Cette mesure est connue dans la Marine impériale sous le nom de *cheval de* 30 *litres !*

Le cheval de 30 litres fut remplacé par un autre, qui ne valait guère mieux, et dont la mesure, exprimée par la formule $F = \frac{D^2 CN}{0,59}$, remontait aux plus vieilles machines à basse pression; car avec une pression moyenne à l'indicateur de 1 kilogramme par centimètre carré, le rendement ressort à 154 kilogrammètres par seconde.

Dans ce mode de jaugeage, les augmentations de rendement devant provenir d'un acroissement de la *pression* étaient conservées, mais tout progrès du chef de la *vitesse* était interdit, et, à mesure que le perfectionnement des mécanismes venait fournir l'avantage gratuit d'une rotation plus rapide, il devenait *obligatoire* d'effectuer une diminution équivalente dans les dimensions des cylindres !

Nous verrons plus loin comment cette marche déplorable, inverse du mouvement général dans toutes les marines, et qui a rapidement entraîné la dégradation des types de la flotte française, n'a pas même été accompagnée du résultat qui, à tout le moins, en eût dû tempérer les effets : la réduction effective des poids et du prix de revient.

Le développement de la puissance dans la machine à vapeur se résume donc forcément et exclusivement dans ces deux termes : *volume* décrit par les pistons dans l'unité de temps, et *pression* motrice moyenne mesurée à l'indicateur.

La formule de la marine impériale $F = \frac{D^2 CN}{0,59}$, suivie depuis 1850 jusqu'en 1865, faisait dépendre tout accroissement de la puissance d'une tension plus élevée de la vapeur, tandis que partout ailleurs l'augmentation du *volume décrit par les pistons* était la source principale à laquelle était demandé le progrès de la puissance effective.

Or, la pression de la vapeur aux chaudières, qui en pratique ne pouvait dépasser 2 1/2 atmosphères, limitait le rendement à 250 kilogrammètres (150 kilomètres $\times \frac{2^{atm},50}{1^{atm},50} = 250$ kilog).

Depuis 1866, un rendement de 300 kilogrammètres a bien été décrété, mais, comme on a oublié de fournir les éléments indispensables à cet accroissement, et qu'on a même eu la prétention d'effectuer en même temps une augmentation de détente, entraînant forcément une réduction dans la pression motrice moyenne, le déchet sur les prévisions de puissance de nos dernières frégates cuirassées s'est élevé jusqu'à 600 chevaux indiqués (Savoie), et de savants ingénieurs se sont aperçus, à la fin, qu'avec un volume non modifié et une réduction dans la pression moyenne, il était impossible d'obtenir l'augmentation de puissance qu'ils avaient annoncée !

La détermination des dimensions des machines, eu égard à la puissance, doit donc être complétée par la considération des éléments d'économie de fonctionnement que l'on veut réaliser, et à ce point de vue encore, l'augmentation dans le volume décrit par les pistons, fournissant une *détente* plus considérable, est l'élément capital du progrès.

Nous ne pourrons donc étudier complétement la question des dimensions des machines que lorsque nous discuterons le travail de la vapeur dans la détente.

Toutefois, pour résumer, au seul point de vue de la puissance réalisable, l'étude des éléments de grandeur des machines, nous présentons, dans le tableau ci-contre, les exemples les plus remarquables des divers types. On y voit la progression incessante suivie jusqu'à ce jour par tous les bons constructeurs.

La comparaison rationnelle des volumes décrits par les pistons, dans les machines fonctionnant à des pressions différentes, ne peut être établie qu'en corrigeant les volumes actuellement fournis dans le rapport même des diverses pressions de la vapeur à celle prise pour unité de comparaison. Nous avons admis, pour type, la pression de 2 1/2 atmosphères qui a été la plus généralement employée depuis quinze ans dans les machines marines.

Pour comparer avec les machines à fonctionnement ordinaire celles où la vapeur travaille à double détente, c'est-à-dire par son expansion successive dans deux cylindres de capacité croissante, les volumes que nous devons considérer sont seulement ceux décrits dans les *grands cylindres*,

puisque la détente finale est limitée par ces derniers, et que les cylindres d'admission ne font autre chose que de les décharger de l'effort initial de la vapeur.

Nous avons recueilli, dans les documents les plus autorisés, les résultats de rendement de puissance à l'indicateur d'un grand nombre de machines. Pour comparer entre elles ces valeurs, ainsi que les autres quantités en nombre si considérable que nous aurons à étudier successivement, nous avons pensé que le moyen le plus sûr et le plus exact était la formation de tableaux graphiques, où les diverses valeurs seraient représentées par des grandeurs proportionnelles.

Ce mode d'exposition, en outre de la facilité qu'il donne à saisir de suite les rapports entre toutes les quantités, présente cet immense avantage, qui ne peut être obtenu dans des tableaux numériques, à savoir : que l'appréciation des résultats étant essentiellement influencée par des conditions diverses, d'époque, de puissance, de vitesse et de forme d'application, les valeurs à comparer peuvent être classées dans un ordre dépendant de l'élément qui influe le plus sur leur constitution.

On voit dans le tableau B[1] : « Du rendement effectif de puissance à « l'indicateur par cheval nominal, » que les ingénieurs anglais n'ont pas le monopole exclusif des rendements élevés de puissance, et qu'il est même en France des constructeurs qui ont eu à cœur de s'élever au-dessus du niveau misérable où on voulait nous maintenir.

Nous allons maintenant étudier en détail et successivement les diverses fonctions constituant la production de la force motrice, et dont la première est la combustion.

V

De la Combustion.

C'est à tort que l'on confond toujours, sous le titre de *vaporisation*, deux fonctions absolument distinctes : la *combustion* qui est à proprement parler la génération de la chaleur, et la *vaporisation* qui est l'utilisation de la chaleur réalisée. Il est d'autant plus utile d'étudier séparément ces fonctions, que chacune d'elles comprend un grand nombre

1. Ce tableau sera publié avec les autres qui accompagneront la seconde partie de ce mémoire.

Éléments de puissance et d'utilisation de la vapeur, fournis dans divers types de machines marines par le volume décrit par les pistons.

ANNÉES de la construction.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	NOMS DES BATIMENTS.	PUISSANCE nominale.	PRESSION ABSOLUE aux chaudières.	MOUVEMENT DES PISTONS DE DÉTENTE.					VOLUME décrit par minute et par cheval nominal.		RENDEMENT de puissance par cheval nominal.
					Nombre.	Diamètre.	Course.	Nombre de tours.	Vitesse par minute.	Actuel.	Équivalent pour 2 atmosph. 50.	
			ch.	atm.		m.	m.		m.	m³	m³	kgm.
1836	Barnes et Miller.....	*Normandie*.....	120	1,50	2	1,14	1,066	27	58	1,00	0,60	150
1867	Cie générale transatlantique.	*Saint-Laurent*.....	900	2,75	2	2,20	1,300	36	93	0,78	0,86	250
1844	John Penn.....	*Fairy*.....	120	2,50	2	1,07	0,914	44	75	1,12	0,90	225
1864	Cie générale transatlantique.	*Washington*, *Europe*, etc.	900	2,75	2	2,40	2,640	17	83	0,83	0,91	250
1850-60	Marine impériale.....	$F = \frac{D^2CN}{0,59}$.....	»	2,50	2	»	»	»	»	0,92	0,92	225
1867	Marine impériale.....	*Friedland*.....	950	2,75	2	2,10	1,300	57	150	1,10	1,21	300
1858	R. Napier.....	*Scotia*.....	1000	2,50	2	2,54	3,660	18	132	1,32	1,32	300
1867	Marine impériale.....	*Atalante*.....	450	2,75	2	1,60	0,850	72	140	1,25	1,32	300
1850	Mazeline.....	*Cygne*.....	80	2,00	2	0,94	0,840	50	84	1,48	1,48	300
1866	Napier.....	*Péreire*.....	700	2,75	2	2,132	1,220	55	134	1,37	1,51	300
1858	John Penn.....	*Grille*.....	160	2,50	2	1,12	0,457	135	125	1,53	1,53	375
1867	John Penn.....	*Sapho*.....	350	2,50	2	1,60	0,914	82	150	1,70	1,90	450
1867	Nillus Normand.....	*Morlaix*.....	70	3,00	1	1,00	0,700	100	140	1,57	1,88	340
1864	B. Normand.....	*Commerce*.....	30	4,00	1	0,64	0,400	136	110	1,20	1,90	300
1866	B. Normand.....	*François Ier* (à roues)...	100	4,00	1	1,28	1,000	50	100	1,30	2,00	400
1867	Ravenhill-Hodgson.....	*Lord Clyde*.....	1000	2,50	2	2,95	1,370	60	164	2,00	2,00	450
1868	Normand et Nillus.....	*Lusitano*.....	80	4,00	1	0,80	0,800	à 55	88	1,47	2,45	450
1869	Normand et Nillus.....	*François Ier* (à hélice)...	100	3,50	1	1,28	0,914	à 80	144	1,84	2,57	450
1863	Humphries.....	*Poonah*.....	500	2,70	2	2,60	0,914	65	120	2,50	2,80	300
1864	Randolph et Elder.....	*Constance*.....	500	2,50	4	1,98	0,914	65	120	3,00	3,00	350

de faits importants qui, dans les machines marines, revêtent des caractères spéciaux, appelant encore, comme nous l'avons annoncé, d'importantes améliorations.

Brûler le combustible aussi complétement que possible, tout en maintenant à la moindre proportion nécessaire le volume de l'air alimentant la combustion (afin de ne pas accroître la perte de chaleur due à la température conservée par la fumée), telle est la première condition du bon emploi du combustible dans toute chaudière. L'élément capital conduisant à ce résultat est un *tirage* énergique. Or, presque toutes les chaudières marines sont, sous ce rapport, dans une grave infériorité comparativement aux chaudières fixes, par suite de la hauteur généralement insuffisante des cheminées. Il n'est pas sans intérêt de considérer tout d'abord quelles sont ordinairement les conditions statiques de tirage dans les chaudières fixes ; nous les résumons dans le tableau ci-après :

Éléments statiques du tirage naturel dans les cheminées des chaudières fixes. — Valeurs dues aux différences de densité exprimées en millimètres d'eau.

HAUTEURS des CHEMINÉES.	TEMPÉRATURES DE LA FUMÉE.		
	200°.	300°.	400°.
	millim.	millim.	millim.
30 mètres.	14	18	20
40 —	19	24	27
50 —	24	30	34

On peut conclure des proportions observées dans l'industrie, que les éléments d'un bon tirage ne se rencontrent pleinement que lorsque celui-ci correspond à une aspiration statique de 20 *millimètres d'eau* au moins, et ces conditions sont réalisées dans le plus grand nombre des cheminées des machines fixes.

Les avantages qui résultent d'un tirage énergique sont les suivants :

1° La superficie de la grille peut être réduite au minimum et la couche de combustible maintenue à une épaisseur suffisante pour assurer la pleine utilisation de l'air dans son passage, et rendre moins délicate l'opération de la chauffe ;

2° Les grilles peuvent être assez serrées pour qu'il n'y ait pas de charbon ou de coke perdu dans les escarbilles, celles-ci étant toujours mal utilisées quand il faut les rejeter sur la grille ;

3° Le passage de l'air dans le combustible, sous une aspiration énergique, opère un *brassage* des éléments gazeux et assure une bonne combustion avec le minimum de fumée.

Dans ces conditions de combustion, les bonnes houilles du pays de Galles et de Charleroy, brûlées à raison de 1 *kilogramme par décimètre carré de grille*, proportion qui doit être considérée comme normale et la plus avantageuse, peuvent fournir industriellement un rendement de 7,000 calories, dont les 80 centièmes transmis à l'eau, dans le cas de bonnes chaudières tubulaires, produisent une vaporisation effective de *neuf* kilogrammes d'eau prise à 30 degrés et convertie en vapeur à 5 atmosphères.

$$(653° - 30°) \times 9 = 5600 \text{ calories.}$$

Les idées les plus erronées ont été accréditées sur cette question, attribuant, à tort, des avantages considérables à la *combustion lente*.

Pour presque tous les combustibles c'est le contraire qui est vrai, et tous ceux qui ont un fourneau de machine à leur disposition peuvent s'assurer par eux-mêmes qu'il est beaucoup plus avantageux de maintenir la production de la chaleur dans les limites nécessaires par une *réduction* convenable de la surface de grille, que de rechercher dans l'allanguissement du tirage le bénéfice de la trop vantée combustion lente. L'emploi du charbon cru sur les locomotives nous en donne une autre démonstration. Le foyer d'une locomotive en stationnement est régi suivant le principe de la combustion lente; lorsqu'il est en pleine vitesse, c'est la combustion active, à son taux extrême. Or, chacun sait laquelle des deux combustions est la plus parfaite.

La combustion lente a été mise en vogue dans les chaudières de Cornouailles, où on emploie un combustible excellent et très-maigre, qui a ainsi l'avantage de brûler assez bien à toutes les allures. Les bons résultats, d'ailleurs très-exagérés, des chaudières de Cornouailles ne proviennent donc pas de la combustion lente, mais de la *vaporisation lente*, ce qui est tout autre chose, comme nous le verrons plus loin.

Nous allons voir maintenant quels sont les éléments du tirage dans les chaudières marines, où la hauteur des cheminées est presque toujours limitée, comme suit, selon les diverses puissances : à 10 mètres pour les petits appareils de 30 à 50 chevaux; à 15 mètres pour ceux de 150 à 200. Ce n'est généralement qu'au-dessus de 400 et 500 chevaux que les cheminées atteignent 20 mètres, et l'un de plus importants avantages des grands appareils moteurs des paquebots transatlantiques est d'avoir des cheminées de 25 mètres; ces hauteurs sont naturellement comptées à partir de la grille.

Ces conditions si restreintes de tirage sont, en partie, compensées par des températures de la fumée plus élevées que dans les chaudières fixes, par suite de la moindre étendue relative des parcours et des surfaces absorbantes.

Au total on peut évaluer les éléments statiques du tirage dans les chaudières marines comme suit, en millimètres d'eau.

HAUTEURS des CHEMINÉES.	TEMPÉRATURES DE LA FUMÉE.		
	300°.	400°.	500°.
10 mètres.	6	6 1/2	7
15 —	9	10	11
20 —	12	14	15
25 —	15	17	19

On voit que les éléments du tirage, dans le plus grand nombre des chaudières marines, n'atteignent pas la moitié du taux normal pour les générateurs fixes.

Cette infériorité est encore souvent aggravée par diverses circonstances qui résultent presque toujours de vices de construction.

Dans les chaudières de la marine impériale, le tirage est généralement mauvais, même relativement aux conditions ordinaires que nous venons de signaler. Cette aggravation d'un si grand défaut résulte d'abord des hauteurs comparativement faibles des cheminées qui sur les plus grands appareils de notre flotte, ne dépassent jamais 18 mètres, soit 6 à 7 mètres de moins que les hauteurs correspondantes aux mêmes puissances des bâtiments du commerce. Mais la cause principale de l'insuffisance du tirage réside dans les sections insuffisantes des conduits de fumée, et leur mauvaise conformation aux changements de direction.

Dans les deux types réglementaires pour les appareils de 800 chevaux nominaux, les sections des carneaux à l'entrée de la cheminée, sont réduites à quatre ouvertures d'un mètre carré chacune, ce qui pour une consommation à pleine puissance de 4,000 kilogrammes par heure, correspond à 10 *kilogrammes de charbon par décimètre carré de section*. En admettant que l'air soit brûlé aux 6 *dixièmes* et que la température dans les carneaux soit seulement de 400 degrés, le volume par kilogramme de charbon est de $15^{m3},0 \times (1 + 0,00366 \times 400°)$; soit, 37 mètres cubes. Avec les proportions de sections ci-dessus, les vitesses de passage des gaz, sans tenir compte d'aucune contraction, dépassent 10 *mètres par seconde*.

Ces conditions sont vraiment excessives.

Eu égard aux faibles éléments statiques du tirage dans les appareils marins, on doit s'attacher à réduire au minimum les résistances passives et à reporter la plus grande somme d'*aspiration nette* à la grille, seule partie où peut avoir lieu une contraction utile. Pour cela les sections de conduits et de cheminées ne devraient jamais ressortir à moins d'un décimètre carré pour 5 ou 6 kilogrammes de charbon brûlé par heure, ce qui correspond à une vitesse de parcours des gaz de 5 à 6 mètres par seconde.

Pour prouver que ces conditions sont parfaitement réalisables dans la pratique, il nous suffira de dire qu'elles ont été observées dans les vingt machines marines que nous avons construites jusqu'à ce jour.

Il n'est pas hors de propos de faire remarquer que les bâtiments de guerre pouvant être exposés dans le combat à voir le tirage réduit par des trous de boulets dans les cheminées, il est d'autant plus essentiel de donner à celles-ci une hauteur qui, dans une grande mesure, puisse compenser ce dommage.

Pour tous les petits bâtiments le tirage naturel, même établi dans les meilleures conditions, est absolument insuffisant, surtout pour brûler les charbons maigres qui, n'encrassant pas les tubes, sont par cela même préférés. On doit alors compenser l'insuffisance du tirage par un jet de vapeur, moyen qui est largement employé par les constructeurs anglais.

Nous avons établi une règle très-simple pour déterminer la dimension de ce jet. Elle consiste à calculer, pour la section entière de la cheminée, la *traction* complémentaire (section de jet multipliée par la pression effective) correspondante à l'insuffisance statique du tirage naturel, et constituant une aspiration totale de 20 millimètres d'eau.

Ainsi, pour une cheminée de 15 mètres de hauteur et d'un mètre de diamètre, la traction à exercer sur la veine de fumée serait

$$78^{déc2}5^{c} \times (0^{déc},20 - 0^{déc},10) = 8 \text{ kilogrammes.}$$

La pression effective de la vapeur étant 1 1/2 par centimètre carré, le diamètre du jet doit être de 26 millimètres.

La proportion de vapeur ainsi employée pour compléter un bon tirage peut varier entre 4 et 8 centièmes de la production totale[1]. Cette dépense, toutefois, est peu de chose en comparaison des pertes qu'elles supprime comme mauvaise utilisation de combustible, encrassement des grilles et des tubes, et par dessus tout l'impossibilité d'atteindre autrement la puissance nécessaire.

Dans ces conditions, la combustion dans les foyers des machines marines est rendue pleinement égale à celle réalisée dans les meilleures machines fixes ; au total et eu égard à la qualité exceptionnelle du combustible ordinairement employé on doit admettre que la chaleur développée par kilogramme de combustible peut atteindre normalement 7,000 calories, et 6,400 à 6,700 dans les petits appareils, en tenant compte de la vapeur distraite pour opérer le tirage.

1. Nous n'avons pas besoin de faire ressortir combien la production du tirage dans ces conditions est onéreuse. La perte de travail est représentée par le rapport entre la vitesse de la vapeur à l'orifice du jet et celle de la fumée mise en mouvement, c'est-à-dire $\frac{300}{7 \text{ à } 8}$ soit 40 fois le travail utile. Ce désavantage serait supprimé par des dispositions analogues à celles décrites pour la ventilation par M. de Mondesir.

VI

De la vaporisation.

Nous avons vu, dans la précédente division, comment on peut retirer du combustible la plus grande somme utilisable de chaleur. Nous devons étudier à présent les moyens de transformer ce calorique en production maxima de vapeur.

Cette investigation sera effectuée lorsque nous aurons déterminé les moyens les plus complets de réduire au minimum pratique les *quatre* causes qui se réunissent pour restreindre l'utilisation de la chaudière, considérée comme instrument de la transmission de la chaleur du foyer à l'eau devant être convertie en vapeur.

Ces causes sont :

1° L'insuffisance de l'étendue des surfaces d'absorption et de transmission de la chaleur ;

2° L'encrassement des surfaces au contact des gaz de la combustion ;

3° Les dépôts sédimentaires, ou incrustations des surfaces en contact avec l'eau ;

4° Les pertes dues aux extractions de l'eau saline, concentrée dans les appareils fonctionnant à l'eau de mer.

Les trois premiers ordres de réduction que nous venons d'énumérer interviennent, mais à un degré restreint, dans les générateurs fixes ; le quatrième appartient exclusivement aux chaudières marines.

Élever au maximum l'absorption de la chaleur constitue la première partie de l'étude d'une chaudière, et, à ce point de vue, nous pouvons admettre que les proportions qui ont été trouvées les plus avantageuses dans les générateurs fixes (où les conditions de poids et d'emplacement sont de nulle considération) doivent être regardées comme des proportions types, dont il faut chercher à se rapprocher le plus possible dans les chaudières marines.

On a jusqu'ici commis cette double méprise, soit de considérer les divers éléments des chaudières dans leur rapport les uns avec les autres, ou de les comparer aux quantités de force réalisée dans la machine : lesquelles, indécises le plus souvent dans leur propre mesure et reposant sur des emplois différents de la vapeur, ne peuvent nullement exprimer la fonction de la chaudière, qui seule est à considérer.

Ainsi donc, si les expressions de surfaces ou de volumes par cheval peuvent être employées pour indiquer le résultat final de l'appareil moteur, elles doivent être absolument interdites dans une étude rationnelle

de la chaudière, aussi bien que les rapports établis entre les sections de grille et autres avec les surfaces de chauffe; car ce mode d'appréciation ne pourrait que conduire à étendre à tous les éléments, soit des insuffisances, soit des exagérations de dimensions, qui parfois doivent être assignées pour une raison particulière à l'une ou l'autre des parties.

La mesure normale de la puissance d'une chaudière est seulement la *quantité de vapeur* à produire, et c'est par là qu'elle devrait toujours être définie; et, comme nous l'avons établi pour la surface de grille et les sections de passage et de cheminée, la surface de chauffe doit être proportionnée directement à la quantité de combustible à dépenser, en d'autres termes à la chaleur à transmettre.

Dans les chaudières tubulaires fixes les mieux construites, cette surface de chauffe varie entre *un demi* et *un* mètre carré par kilogramme de charbon brûlé, soit 1 à 2 kilogrammes de charbon par mètre carré. Ces chiffres sont notablement dépassés dans les générateurs fixes d'autres systèmes. Du reste, on peut voir dans le tableau suivant le rapport qui existe entre cette donnée de la chaudière et l'économie du fonctionnement.

DÉSIGNATION DES CHAUDIÈRES.	CONSTRUCTEURS.	COMBUSTIBLE.	CHARBON BRÛLÉ par mètre carré. de surf. de chauffe.	EAU vaporisée par kilogramme de charbon.
			kil.	kil.
Chaudières circulaires hémisphériques des machines atmosphériques[1]	Smeaton	Supérieur	7,65	8,00
Chaudières à wagons[1]	Watt	Supérieur	4,00	8,00
Chaudière à bouilleurs[2]	Meyer	Médiocre	4,30	6,71
Chaudières tubulaires[2]	Molinos et Pronnier.	Médiocre	1,93	7,73
Chaudière tubes verticaux[2]	Zambeaux	Médiocre	1,06	7,68
Chaudière à bouilleurs et réchauffeur tubulaire[2]	Prouvost	Médiocre	1,08	7,69
Chaudière tubulaire de l'École d'agriculture à Rennes	B. Normand	Galles	1,64	9,05
Chaudière tubulaire. Stéarinerie au Havre	B. Normand	Galles	1,73	10,00
Chaudière tubulaire. Moulin de Bouray	B. Normand	Mons médiocre.	1,41	8,50
Chaudières de Cornouilles[1]		Galles	0,40	10,60

1. Chiffres fournis par John Bourne.
2. Expériences de la Société industrielle de Mulhouse.

Dans les chaudières marines ordinaires, le combustible dépensé par rapport à la surface de chauffe atteint une proportion sensiblement

double, soit en moyenne quatre kilogrammes par mètre carré, ainsi qu'il résulte des exemples suivants :

NOMS des BATIMENTS.	NOMS des CONSTRUCTEURS.	PUISSANCE nominale.	CHARBON BRULÉ par mètre carré de surface de chauffe.
		chev. nominaux.	kil.
Navarre.....	Forges et chantiers de la Méditerranée.....	460	3,52
Alexandre.....	Indret.....	800	3,78
Ulster.....	J. Watt et Cie.....	750	3,90
Tasmanian.....	Inglis.....	530	4,14
Donawerth.....	Mazeline.....	450	4,93
Grille.....	J. Penn.....	160	5,00
Orne.....	J. Penn.....	80	5,50
Éclair.....	Ravenhill.....	70	5,50
Anciennes chaudières marines à galeries.....	»	»	5,50

Cette proportion de charbon brûlé, par rapport à la surface de chauffe est beaucoup plus faible dans les chaudières américaines à tubes verticaux qui furent inaugurés par John Faron, ingénieur en chef de la ligne Collins, et les remarquables résultats des machines de cette célèbre Compagnie doivent être attribués en grande partie à l'excellence des générateurs, où la plus grande légèreté était combinée avec une parfaite utilisation de la chaleur.

Dans les appareils dont nous parlons, qui sont appliqués sur presque tous les bâtiments de la flotte des États-Unis, avec la disposition en retour, introduite par M. Martin, la consommation est aussi faible que dans les meilleures chaudières fixes, soit moins de *deux* kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe.

Sur un grand nombre d'appareils de la Marine impériale, cette proportion ressort aussi à un taux avantageux. Malheureusement ce résultat n'est favorable qu'en apparence, car il est dû à l'exiguité des éléments de la machine, qui ne peut comporter qu'une dépense réduite de vapeur. C'est ainsi que la consommation de charbon par mètre carré de surface de chauffe est amenée à des proportions si restreintes sur les bâtiments suivants :

NOMS des BATIMENTS.	NOMS des CONSTRUCTEURS.	PUISSANCE nominale.	CHARBON BRULÉ par mètre carré de surface de chauffe.
		chev. nominaux.	kil.
Vaisseau	Indret	900	2,73
Mouette	Forges et chantiers de la Méditerranée	200	2,80
Algésiras	Toulon	900	2,80
Abeille	Indret	100	2,84
Tilsitt	Brest	500	3,40

La substitution des machines à fonctionnement économique aux machines marines anciennes a réagi de la manière la plus favorable sur le travail propre des chaudières, la réduction dans la dépense de vapeur, plaçant celles-ci dans des conditions de travail plus avantageuses.

On a ainsi obtenu ce double profit : la vapeur coûtant d'autant moins à produire qu'elle est dépensée en moindre quantité.

Les divers types de machines marines à fonctionnement économique ont ainsi permis de réduire aux proportions suivantes la vaporisation par mètre carré de surface de chauffe des chaudières :

NOMS des BATIMENTS.	NOMS des CONSTRUCTEURS.	PUISSANCE nominale.	CHARBON BRULÉ par mètre carré de surface de chauffé.
		chev. nominaux.	kil.
Duguay-Trouin	B. Normand	40	1,90
Guayaquil	Randolph et Elder	120	2,08
Ripon	Ravenhill	450	2,17
Sultan	Sommers et Day	210	2,21
San Carlos	Randolph et Elder	120	2,62
Poonah	Humphries	500	2,74
Albert	B. Normand	100	2,75
Morlaix	B. Normand et Nillus	70	3,16
François Ier [1]	B. Normand	100	3,48

1. Chaudière de volume tres-restreint par les dimensions de la coque.

Il est d'un grand intérêt de comparer les diverses valeurs que nous venons de présenter avec les conditions d'utilisations réalisées dans les chaudières des machines locomotives. Nous devons à l'obligeance de notre collègue, M. Chobrzynski, la communication des résultats constatés sur divers types de machines du chemin de fer du Nord.

On voit que, à part les machines à grande vitesse qui sont dominées par des exigences impérieuses de grande production de vapeur, les loco-

motives fonctionnent sous le rapport des éléments d'absorption de la chaleur dans des conditions très-satisfaisantes :

TYPES des MACHINES.	SURFACE de CHAUFFE.	CONSOMMATION PAR HEURE		NATURE du COMBUSTIBLE.
		totale.	par mètre carré.	
Engerth marchand...	197m²,00	510 kil.	2k,59	Charbon tout venant.
Fortes rampes.....	128 ,7	350	2 ,83	Charbon tout venant.
Engerth voyageurs..	125 ,5	450	3 ,58	Briquettes bonne qualité.
Crampton.	97 ,4	612	6 ,30	Gros combustible de choix.

Des faits que nous avons recueillis et des données universellement admises de la physique, nous pouvons conclure à la loi pratique de la transmission de la chaleur dans les chaudières, en raison de l'étendue des surfaces offertes et des températures des courants gazeux.

Un kilogramme de charbon ayant développé 7,000 calories dans sa combustion avec 15 mètres cubes d'air froid (l'air brûlé aux 6 dixièmes), les produits de la combustion, du poids de 20k,50, ayant une chaleur spécifique moyenne de 0,24, la température (dans la masse du combustible) s'élève à 1,400 degrés centigrades.

Les surfaces absorbant la chaleur étant à 150 degrés (pour 5 atmosphères, en négligeant l'excès de la température du métal sur l'eau, qui n'affecte pas les dernières parties des surfaces d'absorption) les décroissances de température se produiraient comme suit :

SURFACE DE CHAUFFE par kilogramme de charbon brûlé.	CHARBON BRULÉ par mètre carré de surface de chauffe.	TEMPÉRATURE conservée par la fumée.	PROPORTIONS de chaleur absorbée.	VAPORISATION à 7000 cal. p. K de charb. et 600 cal. p. K de va.
m².	kilogrammes.	degrés.		k.
0,10	10,00	900	0,36	4,20
0,20	5,00	600	0,57	6,65
0,30	3,33	420	0,70	8,15
0,40	2,50	312	0,78	9,10
0,50	2,00	247	0,82	9,55
0,60	1,66	208	0,85	9,90
0,70	1,43	185	0,87	10,10
0,80	1,25	170	0,88	10,30

La loi de cette table peut être exprimée ainsi : les 6 *dixièmes de la différence des températures primitives* (des gaz sur les surfaces absorbantes) sont conservés après le passage contre des surfaces ayant 1 *dixième mètre carré par kilogramme de charbon brûlé* avec le minimum pratique

de volume d'air, soit 1 *mètre carré* de surface pour 1 mètre cube et demi de fumée ramenée à la température de zéro.

On en tire, pour la transmission d'un courant gazeux de volume indéfini à la pression atmosphérique et de température uniforme, la valeur élémentaire : 25 *calories par heure, par mètre carré et par degré de différence de température.*

En comprenant les chiffres de vaporisation calculés ci-dessus avec les résultats d'expériences que nous avons présentés plus haut page 477, on trouve un accord satisfaisant entre les valeurs fournies par la pratique et celles déduites de la loi générale que nous avons formulée.

On s'étonnera sans doute de ce que nous n'ayons aucun chiffre d'observation directe à présenter sur la vaporisation dans les chaudières marines. En égard aux conditions d'établissement de ces générateurs, les mesures directes de l'eau vaporisée sont presque impossibles et celles déduites du travail de la vapeur dans les cylindres sont les seules dont on puisse disposer.

Dans un certain nombre de chaudières fixes, on a amélioré l'utilisation de la chaleur en amenant les derniers parcours de la fumée en contact avec l'eau d'alimentation ; ces dispositions ont parfois été appliquées sur des chaudières marines, notamment par Randolph et Elder.

Les conditions normales du fonctionnement des générateurs, surtout ceux de navigation, sont fréquemment altérées par des dépôts de suie et de cendres, affectant la marche de deux manières, en diminuant les sections de passage, et en réduisant la transmissibilité de la chaleur. Cette dernière action atteint parfois une importance égale à celle qu'aurait une réduction de moitié dans l'étendue des surfaces.

Cette altération, qui ne se produit d'une manière bien sensible qu'avec une mauvaise combustion, peut être combattue par des nettoyages assez fréquents des tubes ; mais ce procédé demande beaucoup de temps avec les brosses ordinaires. Il a d'ailleurs l'inconvénient de désorganiser la marche des chaudières, le tirage étant gravement altéré pour tous les foyers, même par l'ouverture d'une seule boîte à fumée. Nous avons depuis longtemps substitué à ce mode défectueux un nettoyage pratiqué au moyen d'un jet de vapeur amené par un tube flexible, qui permet de dégager complétement une centaine de tubes en deux ou trois minutes, et, dans certains cas, sans ouvrir les boîtes à fumée.

En terminant l'étude des proportions générales des chaudières, nous devons présenter une observation sur un point important que nous croyons n'avoir jamais été élucidé d'une manière satisfaisante.

On sait quelle influence défavorable peuvent exercer sur la marche de la machine les entraînements d'eau, même dans une proportion restreinte. Cette eau s'accumulant dans les cylindres intervient avec le fonctionnement de la vapeur, dont la dépense réelle se trouve souvent plus que doublée; il en peut résulter en outre des accidents graves pour les machines et les chaudières.

Les circonstances qui donnent lieu à l'entraînement de l'eau sont : une capacité trop faible du réservoir à vapeur, et surtout l'insuffisance de la surface de niveau d'eau par rapport au volume de vapeur, s'élevant à à travers la surface d'ébullition.

Il est évident que la comparaison des surfaces de niveau d'eau doit être rapportée au *volume* et nullement au *poids* de vapeur. Les chaudières à pression élevée ont donc sous ce rapport un avantage considérable, et les chaudières locomotives ne pourraient fonctionner à des pressions moindres, qu'avec un ralentissement considérable dans leur travail. Toutefois, une faible proportion de surface de niveau peut être dans une certaine mesure atténuée par une ample dimension du réservoir de vapeur.

Dans la marine impériale, les chaudières dites type bas à courtes grilles présentaient sous ce rapport des inconvénients si graves qu'elles ont dû être abandonnées.

Sur les frégates de 800 chevaux, *Impérieuse*, *Ardente*, *Audacieuse*, on ne pouvait marcher à toute puissance qu'avec la plus grande difficulté et on était exposé à voir, en un instant, l'eau des chaudières prendre avec la vapeur le chemin des cylindres; la vitesse tombait instantanément de 12 à 8 nœuds, et il fallait ensuite longtemps pour ramener le fonctionnement à l'état normal.

La même cause, portée à un degré extravagant, causa l'insuccès de l'appareil du *Comte d'Eu* en 1846, et la trop mémorable explosion amenée par l'augmentation de pression tentée pour atténuer les effets des entraînements d'eau.

Sous le rapport de la production sèche de la vapeur, voici les éléments de fonctionnement des chaudières de divers types :

DÉSIGNATION des APPAREILS.	NOMS des CONSTRUCTEURS.	PUISSANCE nominale.	PRESSION ABSOLUE de marche.	VOLUME DE VAPEUR à fournir par seconde.	SURFACE d'ébullition.	VITESSE ascensionnelle de la vapeur par seconde.
		chevaux.	atmosph.	m3	m2	m.
Orne	J. Penn	80	2,00	1,100	10,00	0,110
Rio-Gualeguay [1]	Nillus et B. Normand.	30	3,00	0,170	1,00	0,095
Marine impériale	Type bas	800	2,25	7,000	75,80	0,093
Marine impériale	Type haut	800	2,25	7,000	81,00	0,086
Marine impériale	Creusot	800	2,25	7,000	89,00	0,078
Locomotive Crampton.	Nord	»	8,00	0,350	5,00	0,070
Sphynx	Fancett	160	1,50	2,250	41,00	0,055
Morlaix	B. Normand et Nillus.	70	2,75	0,500	9,30	0,054
François Ier	B. Normand	100	3,50	0,700	13,30	0,052
Normandie	Barnes	120	1,50	1,400	30,00	0,047
Locomotive Engerth	Marchandises. Nord.	»	8,00	0,320	8,00	0,040
Engerth fortes rampes.	Nord	»	8,00	0,210	6,00	0,035
Albert	B. Normand	100	6,00	0,210	8,80	0,024
Moyenne des chaudières tubulaires fixes	B. Normand	30	4,50	0,105	5,80	0,018

1. Chaudière à enveloppe cylindrique verticale à tubes droits, dimensions limitées par le bateau.

Nous pouvons résumer comme suit les observations nombreuses que nous avons été à même de faire sur cette question, l'une des plus importantes et des plus délicates de toutes celles que comporte la construction des chaudières marines.

La vitesse ascensionnelle de la vapeur à travers la surface d'ébullition ne doit jamais dépasser 10 centimètres par seconde, et ce taux ne peut être atteint qu'avec un volume considérable de réservoir de vapeur. Avec des réservoirs de moyenne proportion, tels qu'on peut les employer dans les grands navires de guerre, la vitesse limite doit être fixée à 8 centimètres par seconde. Avec les réservoirs restreints imposés sur les petits bâtiments de guerre, la limite est 6 centimètres. On arrive à ce résultat avec des chaudières à tubes en retour latéral, et on a fait ainsi d'excellentes chaudières avec des réservoirs de moins de $0^m,60$ de hauteur au-dessus du niveau d'eau.

Pour les chaudières cylindriques à pressions élevées et à réservoirs de vapeur restreints, on n'est sûr d'avoir de la vapeur parfaitement sèche, que lorsque la vitesse ascensionnelle de la vapeur est de moins de 4 centimètres par seconde.

Nous allons voir maintenant quelle est, dans la chaudière marine, la proportion de chaleur qui peut être utilisée, c'est-à-dire employée à transformer de l'eau en vapeur, et quelle est la perte encourue lorsque l'alimentation est faite à l'eau de mer.

On a jusqu'ici attribué à tort une grande influence à la diminution de

conductibilité qui résulterait des sédiments calcaires déposés par l'eau de mer. Lorsque ces incrustations sont maintenues au-dessous d'une épaisseur de 2 à 3 millimètres, il n'y a trace dans ce cas d'aucune réduction d'effet, et il est aujourd'hui bien reconnu que, dans ces limites, les dépôts constituant un véritable émaillage, sont l'élément capital de la conservation des chaudières alimentées à l'eau de mer.

Tandis qu'un assemblage de tôles de fer et de tubes de cuivre, baigné d'eau de mer, *même froide et non concentrée*, serait infailliblement détruit en un ou deux ans tout au plus, la protection effectuée par des dépôts calcaires est si efficace qu'une très-grande partie des éléments d'une chaudière marine n'ont pas subi d'oxydation appréciable, après cinq ou six ans de service.

Nous trouvons une autre preuve de cette action utile dans ce fait que dans beaucoup de chaudières marines des substances désincrustantes trop actives, ou employées en trop grande quantité, ont eu les effets les plus fâcheux au point de vue de la conservation des appareils.

Mais nous nous hâtons d'ajouter que, lorsqu'on laisse les sédiments acquérir une épaisseur considérable, il en peut résulter les dommages les plus graves par la fatigue des joints, les déformations et les ruptures du métal produits par l'élévation de température à laquelle celui-ci a été amenée par la suppression ou l'altération du contact de l'eau.

Lorsque la pression de marche ne dépasse pas 3 atmosphères, les inconvénients peuvent être complétement évités par une construction judicieuse de chaudière permettant l'accès à toutes les parties, et par une surveillance assidue des mécaniciens opérant, pendant les jours d'arrêt, l'enlèvement mécanique des dépôts à mesure de leur formation.

Dans un grand nombre de chaudières marines, l'accès à une grande partie des surfaces de chauffe est complétement impossible.

Le seul inconvénient sérieux de l'alimentation à l'eau de mer, pour les pressions inférieures à 3 atmosphères, consiste dans la nécessité de faire des extractions pour éviter la concentration de l'eau salée. Ainsi l'alimentation qui, dans la pratique générale, doit être estimée à deux fois, et souvent même à *deux fois et demie* la vaporisation, pourrait être, avec des précautions suivies, maintenue avantageusement à *une fois et demie* seulement correspondant à une concentration au *triple*.

L'augmentation de la dépense de charbon par les extractions s'établit ainsi :

La chaleur utilement employée à la vaporisation étant (pour 2 1/2 atmosphères, condensation à 35°) 645 — 35 = 610 calories.

RAPPORT DU VOLUME des extractions à la vaporisation.	CONCENTRATIONS à	CHALEUR DÉPENSÉE dans l'extraction.	ACCROISSEMENT de dépense dû à l'extraction.	VAPORISATION celle sans extraction étant 8 kil.
1,50	1,66	$\frac{128 - 35}{0,66} = 140$	0,225	k. 6.50
1,00	2,00	$128 - 35 = 93$	0,150	6.95
0,50	3,00	$\frac{128 - 35}{2} = 46$	0,075	7.45

En pratique, on ne peut donc pas estimer la perte due aux extractions, à moins de 10 à 15 pour 100. Dans les expériences directes, faites en 1866 sur la machine du Cher, par MM. les ingénieurs de la marine Joessel et Thibaudier, en alimentant alternativement à l'eau douce et à l'eau de mer à 2 1/2 de saturation, la perte moyenne s'est élevée à 18 pour 100. Il est évident qu'une partie de cette augmentation de dépenses devait être attribuée à l'aggravation des conditions de vaporisation imposées à la chaudière.

Un autre inconvénient non moins grave de l'alimentation à l'eau de mer est de limiter à trois atmosphères la pression de marche, et d'empêcher la réalisation d'une plus grande détente et d'un fonctionement plus avantageux de la machine.

Le condenseur à surface est venu remédier de la manière la plus complète à tous ces inconvénients, et placer la Machine marine dans une situation pleinement égale à celle des meilleurs moteurs fixes. Nous étudierons cette importante question avec les détails qu'elle comporte dans la seconde partie de ce mémoire.

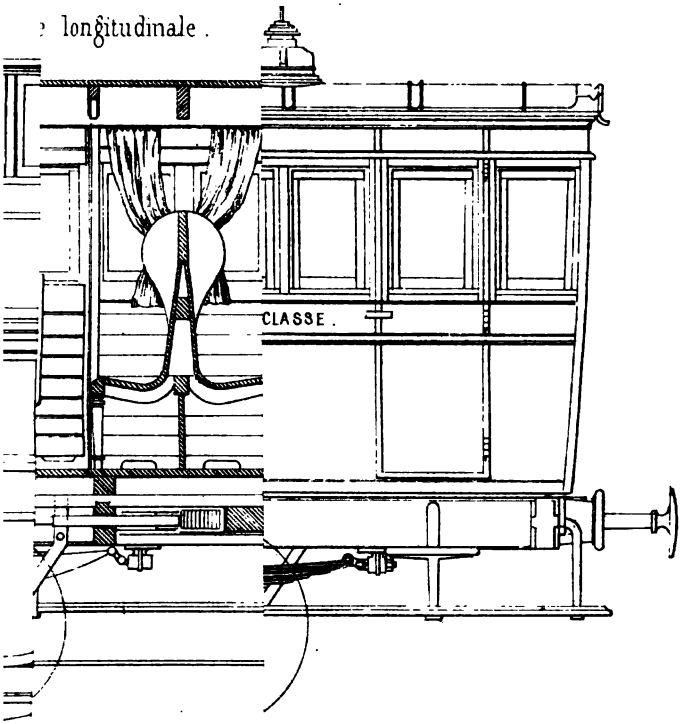
Lorsque nous étudierons dans leur ensemble les appareils moteurs marins au point de vue des poids utiles et des poids morts transportés, nous aurons lieu de considérer en détail les résultats des divers systèmes de chaudières.

Il nous a paru préférable de n'examiner leur utilisation sous le rapport des poids et des espaces occupés que lorsque nous serons à même de considérer parallélement les conditions réalisées par les machines proprement dites et par les approvisionnements de combustible.

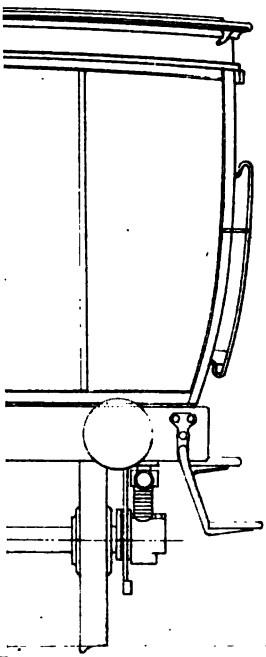
Paris. — Imp. VIÉVILLE et CAPIOMONT, rue des Poitevins, 6
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Voiture

longitudinale.



Vue par bout.



les Brancards 1er 788

Autog. Broise, Rue de Dunkerque, 43 à Paris.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1869)

N° 8

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Grue à équilibre automatique* (séance du 15 octobre, 5 et 19 novembre, pages 496, 513 et 518).

2° *Rapport de la commission chargée d'examiner les projets du nouveau local à construire pour la Société* (séance du 15 octobre, page 496).

3° *Guide pratique de l'ouvrier mécanicien*, par M. Ortolan, mécanicien en chef de la flotte (séance du 15 octobre, page 500).

4° *Analyse des résumés des séances de l'Institution of civils engineers de Londres*, par M. Louis Leloup (séance du 15 octobre, page 500).

5° *Voiture à deux étages*, par M. Vidard (séance du 15 octobre, page 501).

6° *Jus sucrés de betteraves* (transport par conduites souterraines des) par M. Ed. Maure (séance du 5 novembre, page 513).

7° *Contre-vapeur* (Emploi de la), sur le chemin de fer du Nord de l'Espagne (séance du 19 novembre, page 517).

8° *Distribution à un seul et à deux tiroirs* (Études géométriques des appareils de), par M. Deprez (séance du 19 novembre, page 519).

9° *Chemin de fer d'intérêt local*, par M. J. Morandière (séance du 19 novembre, page 520).

10° *Centenaire de la machine locomotive et de la filature automatique* (séance du 3 décembre, page 525).

11° *Voitures à voyageurs du chemin de fer de l'Est*, par M. J. Gaudry (séance du 3 décembre, page 525).

12° *Voies de chemin de fer* (Stabilité de l'ensemble du système des), par M. de Weber (exposé par M. Nordling) (séance du 3 décembre, page 527).

13° *Situation financière de la Société* (Exposé de la), par M. Loustau, trésorier (séance du 17 décembre, page 531).

14° *Élections des membres du bureau et du comité pour l'année* 1870 (séance du 17 décembre, page 532).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Lacroix, éditeur, un exemplaire du *Guide pratique de l'ouvrier mécanicien*, par M. Ortolan.

2° De M. Stockalpes, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de son *Rapport sur les avantages du Simplon sous le rapport de la construction et de l'exploitation d'un chemin de fer.*

3° De M. Arthus Bertrand, éditeur, un exemplaire de l'ouvrage de M. le vice-amiral Paris. *L'Art naval à l'Exposition universelle de Paris en* 1867.

4° De M. Simonin, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur le *Grand-Ouest des Etats-Unis.*

5° De M. Stilmant, membre de la Société, une note sur le *Chauffage des trains de chemins de fer.*

6° De M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire du *Compte rendu des essais d'utilisation et d'épuration des eaux d'égouts de la ville de Paris.*

7° De M. Alexis Barrault, membre de la Société, six volumes reliés : *The Mining Journal Railway and commercial Gazette.*

8° De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de sa troisième note sur le *Transfert de l'Observatoire impérial de Paris.*

9° De la *Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers*, un exemplaire de leur *Annuaire pour l'année* 1869.

10° De M. Jules Michel, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de sa *Notice sur un chemin de fer d'intérêt local en Suisse.* (*Chemin de fer du Jura industriel.*)

11° De M. William Grosseteste, ingénieur civil, un exemplaire de son rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse sur les *Recherches expérimentales sur les moteurs à vapeur, expériences faites sur une machine du système Woolf.*

12° De M. Cialdi, membre de la Société, un exemplaire de son *Mémoire sur les jetées de Port-Saïd et leur ensablement.*

13° De M. Hauchecorne, agent général des chemins de fer, un exemplaire de ses *Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Europe en exploitation pendant l'exercice* 1866.

14° De M. Alfred Godemberg, membre de la Société, un exemplaire de son *Discours prononcé au comice agricole de l'arrondissement de Saverne*, un exemplaire de ses *Observations sur les inconvénients qu'entraînerait la suppression de la vaine pâture*, un exemplaire de sa *Note sur le commerce des blés en* 1867 et un exemplaire de sa *Note sur le travail des enfants dans les manufactures et ateliers.*

15° De M. Faliès, membre de la Société, un exemplaire du *Rapport présenté au Conseil d'administration du chemin de fer de Mamers à Saint-Calais.*

16° De M. Albert Grand, membre de la Société, un *Mémoire sur les huiles de pétrole.*

17° De MM. Brüll et Langlois (Auguste), membres de la Société, un exemplaire de leur mémoire sur l'*Incrustation des chaudières à vapeur et divers moyens de la combattre.*

18° De M. Nordling, membre de la Société, quatre *photographies représentant des vues des viaducs de la Sioule, de Laperrière et de Neuvial.*

19° De M. Chauveau des Roches, membre de la Société, un exemplaire

de son mémoire sur le *Chemin de fer d'intérêt local de la Ferté-Gaucher à Coulommiers.*

20° De M. Charles Girard, ingénieur, un exemplaire de son *Rapport au jury international de l'Exposition universelle de* 1867 *sur les matières colorantes dérivées de la houille.*

21° De M. Hittorf, ingénieur, un exemplaire d'une note sur les *Machines locomotives. Application de la chaleur directe du foyer au séchage et au surchauffage de la vapeur.*

22° Un exemplaire d'une *Notice sur les travaux scientifiques de M. Delesse, ingénieur en chef des mines.*

23° De M. Frédéric Conink, un exemplaire d'une notice sur *le canal de Suez après l'inauguration.*

24° De M. Paul Boubée, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur le *Système de locomotion mixte de M. Alfred Cottrau, appliqué aux chemins de fer économiques en Italie.*

25° De M. Aristide Berard, ingénieur, un exemplaire de son *Étude sur le rôle de la combustion intermoléculaire des corps renfermés dans la fonte et sur l'influence de l'hydrogène dans la fabrication de l'acier fondu.*

26° De M. Maure, membre de la Société, une note sur le *Transport par conduites souterraines des jus sucrés de betteraves.*

27° De M. Jules Gaudry, membre de la Société, une note sur les *Voitures à voyageurs du chemin de fer de l'Est.*

28° De M. Louis Leloup, membre de la Société, la *Traduction des résumés de séances de l'Institution of civils engineers de Londres.*

29° De M. Vidard, membre la Société, une note sur les *Voitures à deux étages.*

30° De M. Deprez, membre de la Société, une note sur des *Etudes géométriques des appareils de distribution à un seul et à deux tiroirs.*

31° De M. Jules Morandière, membre de la Société, une note sur les *Chemins de fer d'intérêt local.*

32° De M. Jordan, membre de la Société, une note sur la *Fabrication de l'acier fondu par affinage de la fonte avec chauffage par combustions moléculaires.*

33° *Annales industrielles*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

34° De la *Société des ingénieurs civils d'Ecosse*, leur bulletin du quatrième trimestre de 1869.

35° De l'institution *of Mechanical Engineers*, les numéros du troisième trimestre 1869 de son bulletin.

36° *De la Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin de juillet et août 1869.

37° De la *Revue horticole*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

38° De la *Gazette du Village*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

39° De la *Société des ingénieurs autrichiens*, les numéros 6 et 7 de 1869 de leur *Revue périodique*.

40° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, le numéro 5 et 6 de 1869.

41° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, le numéro du troisième trimestre 1869 de son bulletin.

42° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

43° De la *Revue d'architecture*, le numéro 9 de l'année 1869.

44° De la Revue *les Mondes*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

45° Du journal *The Engineer*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

46° De la *Société d'encouragement*, les numéros du quatrième trimestre 1869 de son bulletin.

47° De la *Société de géographie*, les numéros du quatrième trimestre 1869 de son bulletin.

48° De la *Société impériale et centrale d'agriculture*, les numéros de mars, avril, mai et juin 1869 de son bulletin.

49° Du journal *l'Invention*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

50° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

51° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

52° De la *Revue contemporaine*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

53° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

54° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

55° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

56° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

57° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

58° Du journal *le Cosmos*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

59° Du *Génie industriel*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

60° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

61° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du deuxième trimestre 1869.

62° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

63° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

64° Du *Propagateur des travaux en fer*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

65° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

66° De la *Propagation industrielle*, les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1869.

67° Du journal *Engineering*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

68° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de septembre et octobre 1869.

69° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le deuxième numéro de son bulletin de 1869.

70° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube,* le tome V de la troisième série de son bulletin.

71° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs minutes of Proceddings de 1868-1869.

72° *Société des Ingénieurs anglais*, le numéro de leurs transactions pour l'année 1868.

73° Du *Comité des forges de France*, les numéros 51 et 52 du bulletin.

74° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros du quatrième trimestre 1869 de son bulletin.

75° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du troisième trimestre de 1869 de son bulletin.

76° Des *Annales des mines*, le numéro de la troisième livraison de 1869.

77° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros de mai, juin, juillet, août, septembre, octobre, novembre et décembre 1869.

78° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, les numéros du troisième trimestre 1869.

79° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du quatrième trimestre 1869.

80° *Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du troisième trimestre 1868 de son bulletin.

81° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, numéros du premier et du troisième trimestre 1869.

82° De la *Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre 1869.

83° De la *Société Vaudoise des Sciences naturelles*, le numéro de mai 1869 de son bulletin.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IVe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1869

Séance du 15 Octobre 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

Le procès-verbal de la séance du 17 septembre est adopté.

M. le Président annonce que M. Nordling, l'un des vice-présidents, vient d'être nommé chevalier de l'Ordre de Frédéric et de la Couronne de Wurtemberg.

Il est donné lecture d'une lettre de M. E. Simon, à propos de la communication qui a été faite dans la dernière séance, sur la grue à équilibre automatique envoyée à l'Exposition universelle de 1867, par la Société des hauts-fourneaux de Maubeuge.

M. Simon trouve que la construction de cet appareil, fort ingénieuse en principe, présente dans la pratique un inconvénient sérieux. Il faut, en effet, à peu près autant de travail pour amener le contre-poids dans une position où il soit capable d'équilibrer la charge que pour soulever le fardeau lui-même. Aussitôt ce dernier déposé à quai ou sur voiture, le contre-poids revient jusqu'à l'extrémité initiale de la courbe, et les hommes d'équipe, nouveaux Sisyphes, doivent la remonter sans cesse, *quand bien même les charges successivement enlevées seraient identiques.*

Il en résulte une perte de temps telle que, lors du déchargement des wagons dans la galerie des machines à l'Exposition de 1867, les divers services de manutention, dépourvus cependant d'appareils de levage en nombre suffisant, se renvoyaient les uns aux autres la grue de Maubeuge, et préféraient encore décharger à bras ou à l'aide de plans inclinés.

Il est ensuite donné lecture du rapport de la Commission chargée d'examiner les projets du nouveau local à construire pour la Société.

Dans sa dernière réunion, tenue le 16 septembre, la Commission

chargée de provoquer et d'examiner les projets de construction du local de la Société a confié à l'un de ses membres le soin de résumer dans un rapport spécial les motifs des résolutions adoptées par elle.

La Commission a décidé :

1° Que, parmi les divers projets proposés, il y en avait deux qui présentaient des dispositions satisfaisantes; qu'en conséquence c'était sur la comparaison de ces deux seuls projets qu'il y avait lieu de délibérer;

2° Que la clôture du concours exigeait qu'entre les deux projets, qui satisfaisaient aux conditions générales du programme, la préférence fût donnée à celui qui offrirait la plus grande somme d'avantages et de convenances;

3° Que le projet présenté par M. Demimuid paraissait préférable, sous ce rapport, à celui de M. Fèvre;

4° Que, pour rendre ce projet complétement satisfaisant M. Demimuid serait informé des critiques de détail dont il paraissait susceptible, afin d'être mis à même de le compléter suivant les indications de la Commission;

5° Que le rapport sur les résolutions précédentes serait soumis au Comité pour qu'il eût à décider, en dernier ressort, sur les opérations de la Commission et sur l'adoption du projet.

Nous résumerons les travaux de la Commission, à partir du jour où elle a été saisie de la mission dont elle vient rendre compte.

Les premières discussions ont porté sur la marche à suivre pour obtenir un projet et pour recueillir les idées personnelles, à cet égard, de l'ensemble des sociétaires.

La Commission a décidé qu'un programme contenant l'ensemble et les détails des exigences du service intérieur des travaux du comité, des commissions et des réunions, serait rédigé par ses soins et mis à la disposition des membres de la Société; qu'un appel serait fait à ceux-ci; que les projets présentés par eux seraient, à mesure de leur dépôt, exposés dans le local de la Société, pour que chaque sociétaire pût en prendre connaissance, donnant ainsi à tous la faculté d'ajouter aux dispositions connues les améliorations dont elles paraîtraient susceptibles.

Enfin un registre d'enquête a été ouvert pour recevoir les dires des divers membres de la Société sur les projets présentés.

Les délais prescrits par la Commission, pour ces diverses opérations, ont successivement expiré, et la Commission, ayant acquis la certitude que personne ne demandait qu'ils fussent étendus, a clos à la fois le concours ainsi que l'enquête publique pour les membres de la Société à laquelle les projets avaient été soumis.

Les divers projets et le registre d'enquête restent déposés aux archives de la Société.

La première question qui s'est présentée à la dernière séance de la Commission a été celle de savoir s'il fallait faire un choix entre les deux projets préférés ou bien en indiquer les défauts en les renvoyant à leurs auteurs pour les améliorer. On a dit, à l'appui de cette opinion, que la

valeur artistique de l'un pouvait compenser le mérite des dispositions de l'autre. On a répondu que ce pouvait être là, en effet, une raison d'*ex-æquo* ou de préférence qui se manifesterait par l'opinion individuelle et collective des membres présents ; que si, dans un concours entre projets satisfaisant au programme, un d'eux est considéré par la majorité des juges comme supérieur à l'autre, il est de toute justice de manifester cette préférence ; que c'est là le résultat loyal de tous les concours, que, d'ailleurs, si on rendait à leurs auteurs des projets qui ne diffèrent très-sensiblement que par les points sur lesquels portent les critiques de la Commission, en leur indiquant ces critiques on arriverait à un projet identique.

La Commission a, en conséquence, décidé qu'elle manifesterait sa préférence pour celui des projets qui semblait à la majorité s'être le plus rapproché du but auquel, d'après l'opinion individuelle de chacun de ses membres, il fallait atteindre.

Les projets ont été présentés dans l'ordre de la date du dépôt, par MM. Demimuid, Bunel, Denise, Fèvre, par plusieurs élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures et par M. Lejeune, architecte du chemin de fer du Nord.

Les projets des élèves de l'École centrale se ressentent de l'absence d'un programme aussi étendu que l'exigeait l'inexpérience des jeunes gens qui ont tenté cet essai de leurs forces ; il en est, parmi eux, qui sont d'un bon dessin, et d'une grande sobriété d'intention.

Les projets de MM. Bunel et Denise ont été étudiés avec soin et satisfaisaient au programme par beaucoup de leurs parties.

Le projet de M. Lejeune se recommande d'une manière toute spéciale parce qu'il est basé sur un système arrêté, quant aux dispositions de la salle des séances. L'objection qui a été faite à ce système, c'est qu'il sacrifie la superficie et le volume disponible pour les autres usages.

Le soin apporté à cette étude, les considérations dans lesquelles son auteur est entré, ont excité l'intérêt de la Commission.

Les devis descriptifs et l'estimation des dépenses sont plus complets que dans la plupart des autres projets.

Enfin, les conditions critiques dans lesquelles M. Lejeune est entré sur les projets présentés ont été fort accueillies, et elles ont aidé la Commission pour l'amélioration du projet préféré.

Quant au projet de M. Fèvre, il est également fait avec beaucoup de soin et de talent artistique.

La Commission propose que des remercîments soient adressés aux divers auteurs des projets présentés qui n'ont pu être accueillis.

Les motifs pour lesquels les projets dont nous venons de parler ont été écartés sont les suivants :

1° Utilisation incomplète du local ; 2° dispositions intérieures incommodes ; 3° vulgarité de la façade.

La préférence accordée au projet de M. Demimuid sur celui de M. Fèvre a été fondée principalement sur l'utilisation supérieure des superficies et de la hauteur disponible.

Le sous-sol est mieux éclairé et disposé de façon à présenter une salle

avec vestibule propre à des réunions, à des expositions de modèles, à des conférences.

Le rez-de-chaussée offre un vestibule et une salle de pas perdus, fumoir, dont la disposition est très-favorable le jour et la nuit, et qui peut être appropriée à des réunions.

Le premier étage est habilement utilisé en bibliothèque, salles de comité et de commissions.

Au second étage, la salle des séances présente de belles dimensions; elle est facilement accessible.

En résumé, la superficie utilisée dans les divers étages offre un ensemble de 417 mètres carrés, tandis que, dans le projet de M. Fèvre, cette superficie n'est que de 274,35 mètres carrés.

Cette utilisation de la superficie et de la hauteur de la construction, les bonnes dispositions des accès et de la distribution générale, ont été considérées comme une raison de supériorité suffisante pour motiver la préférence donnée par la Commission au projet de M. Demimuid.

Les accessoires qui ont été l'objet des critiques de la Commission, à savoir : la partie de la façade correspondant à la salle d'attente, la forme tournante de l'escalier, la trop faible longueur des marches, l'absence de garde-robes dans les étages, l'entrée dans la salle, ont été signalés pour être étudiés de nouveau par l'auteur du projet.

Ces détails réétudiés ont été placés sous les yeux des membres de la Commission. Sept membres leur ont donné leur complète approbation; l'un d'entre eux n'a pas fait connaître son opinion.

Il n'est pas besoin de rappeler que, dans le cours des travaux de la Commission, les principales dispositions des projets avaient été successivement examinées par ses membres et discutées entre eux. C'est ainsi que la convenance de placer la salle des séances à un étage supérieur a été reconnue comme une des conditions essentielles à la bonne utilisation des superficies disponibles.

Qu'une fois déterminée la limite réglementaire de la hauteur de la construction, le nombre d'étages et la hauteur spéciale de chacun ont été également fixés d'après la nécessité de tirer le plus grand parti possible du volume disponible.

Ces diverses questions pourront d'ailleurs revenir opportunément dans les délibérations du Comité.

Si le projet adopté par la Commission est approuvé par le Comité, il y aura à charger son auteur d'en préparer les plans détaillés et un devis descriptif avec estimation des dépenses assez complet pour permettre la rédaction d'un contrat d'exécution, puis d'entrer en relations avec un certain nombre d'entrepreneurs choisis, qui seraient admis à présenter des propositions par voie de concurrence ou d'adjudication, et enfin à proposer au Comité les dispositions financières pour pourvoir à l'exécution.

Pendant l'étude définitive, le projet préféré resterait déposé dans le local de la Société pour être soumis de nouveau à l'examen et aux observations des Membres de la Société et amendé s'il y a lieu.

Ce rapport a été approuvé par le Comité, à l'unanimité des membres présents, dans la séance du 8 octobre.

M. Tronquoy présente, de la part de l'auteur, un exemplaire du *Guide pratique de l'ouvrier mécanicien*, par M. Ortolan, mécanicien en chef de la flotte, et MM. Bonefoy, Cochez, Dinée, Gibert Guipont, Juhel, mécaniciens de la marine.

L'ouvrage est divisé en quatre parties :

La première rappelle les principes de l'arithmétique, de l'algèbre, de la géométrie pratique et de la trigonométrie.

La deuxième partie traite de la mécanique élémentaire, des forces, des transformations de mouvement, de la résistance des matériaux.

La troisième partie est consacrée aux machines motrices à air et à eau, et aux pompes.

Dans la quatrième partie enfin se trouve tout ce qui concerne les machines à vapeur.

Des planches, au nombre de cinquante-deux, comprenant de nombreuses figures, facilitent l'intelligence du texte.

A côté des formules et de tables pratiques, sont placés des exemples qui en indiquent l'application; en outre, il contient l'exposé des principes et l'examen des questions théoriques, et, bien que plus spécialement destiné aux ouvriers, nous croyons qu'il trouvera sa place dans la bibliothèque d'un ingénieur.

M. Brüll rend compte d'une excursion faite récemment par lui sur la ligne de Moulins à Montluçon, et expose les résultats réalisés sur cette ligne par l'emploi de la marche à contre-vapeur.

M. Leloup (Louis) donne communication de l'analyse qu'il a faite des résumés de séances du 22 décembre au 11 mai 1869 de la Société des Ingénieurs civils de Londres (Institution of civils engineers). Cette analyse devant être imprimée *in extenso* dans le bulletin trimestriel, nous ne donnons ici que le titre des questions qui ont été traitées.

1° Travaux d'irrigation dans l'Inde, en Espagne et dans d'autres climats chauds. 2° Fabrication et résistance à l'usure des rails. 3° Relation entre les crues des rivières et la conformation physique de leurs bassins. 4° Crues dans la vallée de Nerbudda (Inde). 5° Pont de Victoria (Londres). 6° Les nouveaux chemins de fer à Battersea (Londres). 7° Stations de terminus du chemin de fer de Charring-Cross prolongé (Londres). 8° Sur la durée des matériaux. 9° Sur la résistance des pilots. 9° *bis*. Sur le procédé pneumatique d'enfoncement des colonnes métalliques pour piles de pont. 10° Sur la détermination expérimentale de l'effort sur les tirants de suspension dans les poutres de ponts arqués à treillis (Bowstring girders).

Des prix et mentions ont été décernés aux auteurs de ces mémoires.

11° La question du nouveau local à construire pour la Société a été longuement discutée. 12° Enquête sur les systèmes d'éducation des ingénieurs (autres que les ingénieurs militaires) dans différents pays, et sur les effets de ladite éducation. 13° Situation financière de la Société. 14° Élection des membres du bureau et du comité. 15° Machines à extraire la houille substituées à l'emploi de la poudre. 16° Description des estacades, pont et plate-forme flottante de New-Ferry et de New-Brighton sur la rivière la Mersey, près de Liverpool. 17° Les chemins de fer de l'Ile Maurice (ligne centrale. 18° Lagunes et marais de certaines parties des côtes de la Méditerranée. 19° Fonçage des puits pour les fondations des piles du pont sur la rivière Jumna; Chemin de fer de Delhi (Inde). 20° Locomotives et matériel roulant américain. 21° Expériences sur les étalons ou modules de comparaison en-

ployés pour mesurer le pouvoir éclairant du gaz extrait de la houille. 22° Chute à la mer du Humber. 23° Nomination de l'Empereur des Français comme membre honoraire de la Société. 23° Description du port à marée de Birkenhead. 24° Résistance des matériaux.

M. LE PRÉSIDENT fait observer qu'il serait intéressant pour la Société de voir l'exemple donné par M. Leloup se continuer, afin de se tenir au courant des travaux faits chez nos divers voisins. En Angleterre, les travaux de toutes sortes, étant exclusivement le domaine des ingénieurs civils, on trouverait certainement, sur tous les ouvrages d'art, travaux des rivières et ports, des renseignements qu'on ne trouve en France que dans les recueils des ingénieurs du gouvernement.

M. VIDARD donne ensuite communication de sa note sur les voitures à deux étages.

J'ai l'honneur de vous demander la permission de répondre aux questions qui ont été posées par M. Simonin, dans la séance du 18 juin dernier, à propos du matériel roulant usité en Amérique, comparé à celui qui est employé en Europe et particulièrement en France, pour le transport des voyageurs par chemins de fer. Cette occasion me permettra de répondre en même temps, d'une manière générale, aux dernières objections qu'a soulevées le système de voitures à deux étages que je propose d'adopter pour le transport des voyageurs.

Il est bien entendu que les opinions que je vais émettre me sont personnelles et ne peuvent engager que moi.

C'est à propos du chemin de fer du Pacifique, livré le 10 mai dernier à la circulation, et qui ouvre à l'Europe la route la plus courte de la Chine et des deux Indes, que M. Simonin s'est attaché à mettre en relief les avantages des grandes voitures américaines.

Les principaux avantages de ces voitures, cités par lui, sont les suivants : large couloir pour le passage, au milieu, d'une extrémité à l'autre du train ; dossiers mobiles permettant de se placer, à volonté, dans le sens du train ou dans le sens opposé; rafraîchissements; linge et objets nécessaires à la toilette; water-closets; puis encore, moyennant des suppléments de prix, fauteuils à dossiers pour dormir et fauteuils à pivot pour mieux voir la campagne; ce qui n'empêche pas d'avoir, pour les voyageurs qui veulent en faire la dépense, soit des voitures à compartiments séparés, soit des wagons spéciaux avec table, lit, divan, etc.

M. Simonin demande pourquoi les voitures américaines n'ont pas été adoptées en Europe, et particulièrement en France. Il accuse, à cette occasion, nos Compagnies de chemin de fer de n'avoir fait faire aucun progrès au matériel roulant.

Deux causes, selon moi, se sont opposées et pourront s'opposer encore, chez nous, à l'adoption du système américain :

1° Les mœurs;

2° Les conditions de l'établissement et de l'exploitation des lignes.

En Amérique, où les mœurs sont profondément démocratiques, où les populations recherchent la vie commune et regardent la plate-forme d'un train, aussi bien que le pont d'un paquebot, comme un lieu public de réunion et de conversation, les voitures du système américain, comportant une seule classe de places, conviennent à peu près à tout le monde.

Il en est autrement dans la plupart des pays de l'Europe, en Angleterre, en France, en Italie, en Espagne, où la Société se divise en plusieurs classes distinctes qui tiennent à ne pas être mélangées, et où, généralement, les voyageurs de chaque classe

considèrent le compartiment qu'ils occupent comme un domicile, dont ils entendent avoir la possession exclusive. Dans ces pays, l'introduction généralisée de couloirs livrant passage, d'un bout à l'autre du train, à toutes les classes de voyageurs indistinctement, ressemblerait à une sorte de promiscuité gênante et de nature à froisser de nombreuses susceptibilités. Les voitures d'origine anglaise, avec leurs trois classes de places soigneusement séparées, s'adaptent beaucoup mieux que les autres aux mœurs de ces divers pays.

S'il est vrai qu'en Allemagne et en Russie les deux systèmes de voitures ont été employés simultanément, cela tient à ce que, dans ces pays, la forme un peu patriarcale des institutions favorise, dans une certaine mesure, le mélange ou la juxtaposition des classes.

Au point de vue de l'exploitation, il y a, d'abord, ce fait, que dans des vues d'économie justifiées par le haut prix des terrains, par le grand nombre d'ouvrages d'art qu'exige la nature accidentée du sol et par la nécessité de donner aux lignes une double voie (nécessité qui ne s'impose guère en Amérique, où les lignes sont généralement à simple voie), on a dû en Europe, notamment en Angleterre et en France, affecter au passage des trains sur les chemins de fer un passage libre, sensiblement moindre que celui qui leur est donné sur les immenses territoires du nouveau continent.

Des voitures ayant les dimensions de celles employées en Amérique ne pourraient certainement passer sur les voies anglaises ou françaises.

Mais ce qui rend surtout impossible l'adoption des voitures américaines dans nos pays c'est, d'une part, qu'une telle adoption obligerait d'abaisser la vitesse des trains, pour les réduire à la moyenne de 32 kilomètres que comportent les voitures américaines, et qui est leur vitesse normale en Amérique; d'autre part, qu'elle entraînerait une augmentation considérable des dépenses d'exploitation, et, par suite, l'élévation générale des tarifs.

Si l'on admet qu'un certain nombre de personnes voyageant pour leur agrément acceptent, sans trop de regret, la conséquence de la réduction de la vitesse, on conviendra qu'il n'en saurait être de même de la grande masse des voyageurs qui se déplacent uniquement pour leurs affaires, et pour qui, par conséquent, le temps est de l'argent. Pour ces derniers, les voyages ne sont ni assez rapides, ni assez bon marché, et le confortable, quoiqu'ils sachent fort bien l'apprécier, ne vient qu'en seconde ligne. La principale gloire des chemins de fer est, précisément, de tendre à satisfaire ce double et impérieux besoin de rapidité et de bon marché des transports; restreindre l'un et l'autre serait imprimer à notre industrie un mouvement de recul, que certainement l'Europe est loin de vouloir accepter.

En ce qui touche l'augmentation des dépenses d'exploitation, voici, sous la forme la plus sommaire, les résultats qui permettent d'apprécier, au point de vue économique, la valeur comparée de chaque système de véhicules.

Un train type français, de seize voitures (4 de 1re classe, 5 de 2me et 7 de 3me), contient 640 places, dont les 3/4 au plus sont occupés par 480 voyageurs. Son poids total (véhicules et voyageurs) est de 130 tonnes, dont 96 tonnes de poids mort et 34 de poids utile, présentant un rapport de 2,8 pour 1.

La recette de ce train, au prix moyen de 7 1/2 centimes par voyageur et par kilomètre, est de 36 francs.

Les voitures du système américain, dont j'ai pu me procurer les dessins, sont

montées sur huit roues; elles ont une longeur totale de 14m,15, en dehors des tampons; elles pèsent, vides, 13,750 kilogrammes et peuvent contenir 48 places.

Un train de 130 tonnes de poids total, comme le précédent que je viens de citer, composé avec des voitures de ce modèle et remorqué par la même machine, dans les mêmes conditions de charge, de vitesse et de dépense, comprendrait huit voitures, offrant ensemble 384 places, soit, pour les 3/4 occupés, 288 voyageurs seulement, au lieu de 480.

Ce train présenterait un poids mort traîné de 110 tonnes, et un poids utile de 20 tonnes; le rapport entre celui-là et celui-ci serait de 5 1/2 pour un, au lieu de 2,8 pour un.

Les dépenses d'exploitation étant les mêmes pour l'un et l'autre train, la recette, avec le système américain, serait de fr. 21,60 au lieu de fr. 36, ce qui veut dire que la substitution des voitures américaines aux voitures anglaises se résoudrait en une perte réelle de fr. 14,40 par kilomètre, dans les trains de cette importance.

Changeons le point de vue : pour former, avec des voitures américaines, un train de la contenance de 640 places, il faudrait seulement 13 voitures. Mais, néanmoins, ce train pèserait 83 tonnes de plus que s'il était composé de 16 voitures ordinaires, et embrasserait 184 mètres de longueur au lieu de 115. Si l'on considère, d'une part, que les voitures américaines, à cause de leur peu de souplesse, présentent, à poids égal, plus de résistance que les voitures ordinaires; d'autre part, qu'au delà d'une certaine limite la longueur des trains augmente sensiblement l'effort de traction, on reconnaîtra que, pour remorquer le train américain, il faudrait nécessairement ou employer deux machines ordinaires, ou dédoubler le train. Cela revient à dire que, pour transporter le même nombre de voyageurs, les Compagnies seraient obligées d'augmenter considérablement le nombre des trains et la somme des dépenses.

La difficulté s'accroîtrait bien davantage lorsqu'il s'agirait, non plus des trains de 5 à 600 personnes dont je viens de parler, mais de trains de 1000 à 1200 personnes, comme l'affluence des voyageurs les nécessite fréquemment sur les grandes lignes et sur la banlieue, notamment pour les trains de plaisir. De pareils trains seraient matériellement impossibles avec les voitures américaines.

Sans prétendre que ces divers obstacles soient tous également insurmontables, on doit convenir qu'ils sont au moins très-sérieux; le dernier, notamment, celui de l'augmentation des dépenses d'exploitation, justifie l'opinion de ceux qui croient que l'introduction des voitures américaines en France aurait pour conséquence d'abaisser notablement la puissance de transport de nos chemins de fer.

Cependant si l'état de nos mœurs, si d'impérieuses nécessités économiques s'opposent à l'introduction en France du système américain proprement dit, il est bien vrai que ce système présente certains avantages que nous devons désirer, et qu'il est, à mon avis, possible de nous approprier dans une certaine mesure. Tels sont :

La circulation dans les trains;

L'emploi de siéges tournants pour mieux voir la campagne, et de lits ou de fauteuils-lits pour dormir;

Des cabinets de toilette;

Des cabinets d'aisance;

Des cabinets de lecture;

Des buffets pour manger et se rafraîchir.

Sur ce point, les chemins de fer français sont positivement restés en arrière; on

peut le dire sans méconnaître les efforts qu'ont faits les Compagnies pour tenir le service à la hauteur des besoins; car, pour moi, loin de nier ces efforts, je me fais un devoir de relever ici le reproche qui a été adressé aux Compagnies, de n'avoir réalisé aucun progrès dans les voitures à voyageurs depuis 1842.

Pour se convaincre du peu de fondement de ce reproche, il suffit de comparer les voitures de 1842 avec les voitures d'aujourd'hui.

Vous vous rappelez sans doute les anciennes voitures de 3me classe, découvertes, laissant les voyageurs exposés aux intempéries des saisons, et ne leur offrant pas même, à l'origine, de bancs pour s'asseoir; les voitures de 2me classe, basses, étroites, sales; munies de banquettes dures, rembourrées avec du foin ou du warech et recouvertes en toile, sans stores ni filets.

Quelle différence avec les voitures actuelles, plus spacieuses, soigneusement closes, rembourrées et pourvues de stores, de filets et de glaces. Les voitures de 1re classe ont été aussi notablement agrandies et leur garniture intérieure est bien améliorée.

Dans beaucoup de trains on trouve des water-closets placés dans un compartiment spécial du fourgon.

Enfin, moyennant un supplément de prix, comme en Amérique, les Compagnies tiennent à la disposition des voyageurs qui en font la demande, des places de coupés, des fauteuils-lits, des voitures à compartiment-lit, avec water-closet, et même des salons de famille avec lits et cabinet de toilette, où l'on trouve un grand luxe et beaucoup de confortable.

Si ces places de luxe sont peu demandées en France, cela tient d'abord à ce que les prix en sont élevés quoiqu'ils soient bien loin d'être rémunérateurs pour les Compagnies; ensuite, et surtout, à ce que le public français est réfractaire à toute augmentation de tarif, si justement motivée qu'elle soit.

Sous le rapport de la sécurité, la solidité de toutes les voitures a été augmentée, ce qui a pour conséquence une élévation sensible du poids mort traîné, et, par suite, un surcroît de dépenses pour la Compagnie. Les statistiques établissent d'ailleurs, irréfragablement, que, de tous les moyens de transport usités, le chemin de fer est celui qui présente le plus de sécurité. Les accidents provenant des voitures particulières ou publiques, ceux auxquels sont sujets les navires en mer font, proportionnellement, un bien plus grand nombre de victimes que n'en comptent les chemins de fer.

Quant aux risques d'attentats contre les personnes et aux dangers d'incendie dans les voitures de chemins de fer, ils sont infiniment moindres qu'on ne se le figure généralement. La publication officielle, souvent répétée, des listes de ces sortes d'accidents, en regard des nombres de voyageurs transportés, devrait suffire pour rassurer l'opinion publique.

En tout cas, les voitures américaines n'en sont pas plus exemptes que les autres: témoin l'incroyable agression qui eut lieu, au mois de novembre 1864, sur le chemin de New-York au lac Érié, où deux voyageurs furent assassinés et plusieurs autres blessés et volés par une bande de malfaiteurs qui avaient pris place dans le train. — Tous les moyens imaginés, aussi bien en Amérique qu'en Europe, sont impuissants à empêcher des attentats de cette nature, lesquels sont heureusement difficiles à accomplir, et, par conséquent, fort rares. C'est donc à tort, selon moi, qu'on a recommandé l'adoption des voitures américaines pour les prévenir.

En somme, étant donné le système de voitures qui a prévalu chez nous, système

imposé, pour ainsi dire, par de puissantes considérations morales et économiques, les Compagnies ont réalisé, lentement il est vrai, mais, enfin, ont réalisé à peu près toutes les améliorations dont ce système était susceptible.

Maintenant, il s'agit, à raison des besoins nouveaux qui se révèlent, non plus seulement d'améliorer le système, mais de le modifier profondément, de le changer, en quelque sorte. Espérons que les Compagnies ne failliront pas à cette nouvelle tâche, et contentons-nous de leur demander une allure plus rapide que celle du passé.

Il est à remarquer, en effet, que, par l'allongement rapide des lignes européennes, la durée des voyages augmente de jour en jour. En France nous avons, de Brest à Strasbourg, 1125 kilomètres; de Cherbourg à Marseille, 1235 kilomètres, et jusqu'à Nice, 1460 kilomètres; de Calais à Bayonne, 1115 kil. Les trains internationaux parcourent, de Paris à Berlin, 1150 kil.; de Paris à Vienne, 1436 kil.; de Paris à Madrid, 1386, et jusqu'à Carthagène ou à Cadix, 2000 à 2200 kil.

Pour des trajets aussi longs, car ils sont comparables à ceux des plus longues lignes américaines, il serait très-désirable de trouver un matériel réunissant les avantages des voitures américaines et ceux des voitures du système anglais, c'est-à-dire permettant aux voyageurs, soit de s'isoler dans un compartiment approprié, soit de circuler dans le train à leur gré, et d'y trouver water-closets, cabinets de toilette, buffet, livres et journaux, etc.

Eh bien, ce matériel peut être facilement obtenu par l'adoption des voitures à deux étages dont on vous a déjà entretenus.

Ces sortes de voitures constituent un troisième système qui a pris naissance sur les lignes de banlieue de Paris, et que, pour cette raison, j'appellerai le système français, pour le distinguer des deux autres systèmes, anglais et américain.

Pendant longtemps l'usage en a été limité aux lignes de banlieue où elles ont rendu de très-grands services. Elles n'ont commencé à se développer sérieusement sur les autres lignes que depuis l'Exposition de 1867, où figuraient deux voitures de ce système dans lesquelles d'importantes modifications avaient été introduites, modifications qui ont rendu les voitures à deux étages propres au transport des voyageurs en toute saison et sur toutes les lignes. On les désigne sous le nom de *voitures à deux étages*, pour ne pas les confondre avec les voitures à impériales ordinaires.

Vous connaissez, Messieurs, ces nouvelles voitures : elles se composent de deux caisses superposées. La caisse inférieure, qui comprend des compartiments séparés pour les 1re, 2e et 3e classes, conserve la disposition des voitures du système anglais; l'étage supérieur présente la disposition des voitures américaines, avec passage longitudinal dans le milieu et banquettes disposées de chaque côté du passage. L'ensemble est monté sur un châssis surbaissé en fer, d'une disposition particulière, qui a permis d'abaisser la caisse d'environ 0m.50 et même plus, tout en conservant les conditions ordinaires de roulement, d'attelage et de tamponnement, et laissant le périmètre extérieur de la voiture s'inscrire avec un jeu suffisant dans le gabarit des travaux d'art.

Des escaliers, ou plutôt des perrons, de 7 à 8 marches seulement, placés aux extrémités de chaque voiture, donnent un accès facile et rapidement franchi du quai à l'étage supérieur; il suffirait d'une petite passerelle jetée d'un escalier à l'autre pour établir la circulation entre les voitures.

Le jury de la classe 63, dans son rapport sur le matériel des chemins de fer, à l'Exposition universelle de 1867, a résumé ainsi le caractère économique de ces voitures :

« Pouvant contenir 60 à 80 places de toutes classes, ces voitures donnent, par mètre carré de surface de plancher, près de 4 voyageurs, tandis que les voitures ordinaires de 2e classe donnent à peine 2 voyageurs par mètre carré de surface de plancher.

« La comparaison de ces deux chiffres (ajoute-t-il) indique l'économie que doit apporter l'emploi de semblables voitures. »

Si l'on applique aux voitures à deux étages les règles d'après lesquelles j'ai comparé, tout à l'heure, la valeur économique des deux premiers systèmes de voitures, anglais et américain, on obtient les résultats suivants :

Dans les mêmes conditions de charge, de vitesse et de dépense, un train, de 130 tonnes de poids total, comme celui qui nous a déjà servi de terme de comparaison, comprendrait 11 voitures à deux étages, de 78 places chacune; il contiendrait 858 places, dont les trois quarts, occupés, recevraient 644 voyageurs, au lieu de 480 que donnent les voitures ordinaires, et 288 les voitures américaines.

Le poids mort traîné, qui est de 110 tonnes avec les voitures américaines et de 96 avec les voitures ordinaires, descend à 85 tonnes avec les voitures à deux étages; le poids utile s'élève d'une quantité correspondante, c'est-à-dire de 20 tonnes dans le premier cas et de 34 dans le deuxième, il s'élève à 45 tonnes dans le troisième. Le rapport entre le poids mort et le poids utile subit la même proportion : de 5.5 pour 1 qu'il est avec les voitures américaines et de 2.8 pour 1 avec nos voitures ordinaires, il descend à 1.8 pour 1 avec les voitures à deux étages.

Enfin, la recette kilométrique, au prix moyen de 7 1/2 centimes par voyageur, qui est de 21 fr. 60 c. avec les voitures américaines et de 36 fr. avec les voitures ordinaires, s'élèverait à 48 fr. 30 c. avec les voitures à deux étages.

Ces différences montrent quelle est la valeur relative des trois systèmes de voitures au point de vue économique.

Examinées au point de vue du confortable, les voitures à deux étages dont il s'agit présentent les avantages suivants :

1° L'abaissement du seuil des portières et la suppression des palettes supérieures des marchepieds, qui en a été la conséquence, ont rendu beaucoup plus faciles que dans les voitures ordinaires la montée et la descente des voyageurs de la caisse inférieure. On peut y entrer et en sortir, pour ainsi dire, de plain-pied avec *les quais*, sans recourir aux mains courantes, dont le secours est indispensable et auxquelles on est obligé de se suspendre pour sortir des voitures ordinaires.

2° L'étage supérieur, qui domine les clôtures du chemin et que sa ceinture de glaces mobiles permet de clore à volonté ou de transformer en terrasse, facilite singulièrement la vue de la campagne; le voyageur y trouve, en été, une fraîcheur agréable, en même temps qu'il y est débarrassé de l'inconvénient de la poussière.

3° L'abaissement notable de la voiture permet d'élargir la caisse inférieure de tout l'espace occupé par les marchepieds supprimés et par les signaux de côté, lesquels se placent au-dessus de la corniche pour conserver la même position par rapport à la voie. Cet élargissement, de 25 centimètres, compense largement une diminution de 10 à 15 centimètres sur la hauteur intérieure des plus hautes voitures actuelles : en effet, la position assise étant la règle et la position debout l'exception, un accroissement d'espace est plus utile au voyageur dans le sens de la largeur que dans le sens de la hauteur, du moment, bien entendu, que celle-ci est suffisante pour qu'on puisse se tenir debout. Or, la hauteur intérieure peut être, dans les voitures à deux étages, de 1m.70 et même de 1m.75; cela suffit.

L'espace réservé à chaque voyageur varie naturellement selon les dimensions des différents modèles qui ont été établis; il peut être rendu facilement égal à celui des plus grandes voitures ordinaires. Ainsi, dans les voitures à deux étages du modèle de l'Est, cet espace est supérieur, pour les voyageurs de 2e et de 3e classe, à celui des voitures actuelles de l'Ouest, qui passent, à juste titre, pour être des plus confortables; il est un peu inférieur pour les places de 1re classe; en tout cas, il est deux fois plus grand que l'espace réglementaire fixé par l'ordonnance du 15 novembre 1846.

Au moyen d'un léger sacrifice de quelques places, on pourrait augmenter encore notablement l'espace et le confortable des voyageurs; on pourrait, comme dans la première voiture de ce genre que j'ai fait construire, donner aux voyageurs de 1re classe des coupés à fauteuil-lit; à ceux de la 2e classe, des compartiments analogues à ceux de 1re classe ordinaire; aux voyageurs de 3e classe, des siéges rembourrés. On élèverait ainsi d'un degré le confortable de chaque classe, tout en laissant entre elles des différences équivalentes à celles qui existent aujourd'hui. On pourrait réserver à l'étage supérieur de chaque voiture un compartiment pour recevoir, dans les unes, un water-closet, dans d'autres, un cabinet de toilette, un dortoir, un buffet, etc., en un mot, tout le confortable des voitures américaines.

Le quart au moins des places étant généralement inoccupé dans les voitures, une partie des voyageurs de la caisse inférieure pourraient, aux stations, monter à l'étage supérieur et jouir alternativement des avantages des deux systèmes.

Quelques personnes ont exprimé la crainte que les voitures à deux étages, soumises à des vitesses supérieures, ne se renversent, par l'effet de la force centrifuge dans les courbes.

Ces personnes oublient l'expérience, très-concluante, qui se fait journellement sous nos yeux avec les voitures à impériale des lignes de banlieue. Ces voitures qui, ensemble, transportent chaque année environ 25 millions de voyageurs, et sont assujetties aux conditions les plus extrêmes de chargement, circulent, depuis vingt ans, à des vitesses qui atteignent entre les gares de 65 à 75 kilomètres, et au delà, déduction faite des ralentissements et des arrêts aux stations (Versailles r. d. et Versailles r. g. par exemple), sans que jamais aucun accident se soit produit qui puisse être attribué à la force centrifuge, et sans que le mouvement de lacet soit plus prononcé que dans les autres voitures, ni qu'un balancement anormal puisse provoquer la moindre crainte.

Cependant, les voitures à impériale ordinaires se trouvent dans de moins bonnes conditions de stabilité que les voitures à deux étages que je propose, attendu que celles-ci, grâce à l'abaissement notable du châssis, ont leur centre de gravité beaucoup plus bas que les voitures à impériale ordinaires.

Que toute crainte soit donc bannie à cet égard. On peut voyager, en toute sécurité, dans les voitures à deux étages que je viens de décrire, à des vitesses de 60 kilomètres, 70 kilomètres, et même au delà, ainsi que l'ont prouvé maintes expériences.

Citerai-je l'objection basée sur la supposition que les voitures à deux étages pourraient être renversées par le vent? — Elle me paraît bien peu sérieuse. Quel progrès eût jamais été réalisé, si l'on s'était arrêté devant des éventualités de pareille nature! Sans doute, il serait difficile de dire où s'arrêteraient les effets d'une tempête extraordinaire; il n'est pas impossible qu'elle atteigne une violence capable de renverser une voiture, mais les voitures ordinaires ne sont pas plus garanties contre un danger aussi exceptionnel que les voitures à deux étages; si les unes sont moins hautes, les autres sont plus pesantes, ce qui fait compensation. D'ailleurs, combien

d'accidents dus à la cause dont je parle pourrait-on compter? Combien citerait-on de voyageurs qui y aient péri?

Le danger de renversement par les tempêtes préoccupe si peu, que nous avons vu les voitures à deux étages adoptées précisément pour circuler sur les hauts plateaux qui avoisinent Perpignan. Les ingénieurs de la ligne de Perpignan à Prades se servent de ces voitures sans plus d'appréhension qu'ils n'en auraient avec des voitures ordinaires.

En résumé :

1° Deux causes principales empêchent l'adoption en Europe, et particulièrement en France, des voitures du système américain. D'abord, les mœurs des populations qui s'opposent au mélange des classes dans les voitures; ensuite l'énorme proportion de poids mort, comparativement au poids utile, que présentent les voitures américaines. L'usage de ces voitures, en augmentant outre mesure les charges, déjà trop lourdes, des Compagnies de chemins de fer, entraînerait l'élévation générale des tarifs en même temps qu'il réduirait la vitesse, résultat opposé à celui qui est réclamé impérieusement par les populations.

2° Si le système américain ne peut être adopté, nous pouvons, au moins, nous approprier une partie de ses avantages par l'emploi d'un troisième système de voitures, celui des voitures à deux étages, que j'ai appelé le *système français*.

3° Le modèle de voiture à deux étages dont j'ai déjà parlé, présente à l'étage supérieur la disposition du système américain et à l'étage inférieur la disposition des voitures du système anglais. Il conserve la plupart des avantages des deux systèmes, sans en avoir les inconvénients; il augmente dans une forte proportion le rendement de chaque véhicule, en même temps qu'il accroît la puissance des transports.

Avec les améliorations que les ingénieurs sauront y apporter, ce système résoudra le problème posé par M. Simonin. Il est appelé, j'en ai la conviction, à remplacer peu à peu et dans un temps plus ou moins proche, les autres systèmes de voitures en usage, de la même manière que les grandes voitures actuelles ont remplacé les petites voitures d'autrefois. Il amènera enfin la réduction des tarifs, réclamée plus instamment encore que l'accroissement du confortable dans les voitures.

M. Dieudonné fait observer que si les trains omnibus ou de banlieue, contenant des voitures à impériale circulent quelquefois exceptionnellement pendant quelques minutes à des vitesses de 60 kilomètres à l'heure, au lieu de 40 kilomètres, vitesse sur laquelle ils sont généralement calculés, il en est tout autrement des trains-express dont la marche, établie souvent sur une moyenne de 76 kilom. à l'heure, exige très-fréquemment des vitesses réelles de 80 à 90 kilomètres à l'heure sur de longs parcours pour rattraper des retards, par exemple. Le succès des voitures à impériale dans les trains de banlieue ne peut faire préjuger en rien la manière dont elles se comporteraient dans les express en service courant, et, pour sa part, il pense qu'elles seraient soumises à des oscillations fort désagréables. On n'a d'ailleurs qu'à se mettre dans une vigie de frein pour se convaincre de ce fait.

Les actions dues à la force centrifuge augmentent comme le carré de la vitesse et sur une partie de voie mal nivelée il pourrait peut-être même y avoir danger. Il pense d'ailleurs que si l'usage justifie l'adoption d'une telle voiture dans les trains ordinaires autres que les express, il y a là un champ assez vaste, puisque ces

trains font une large majorité et par leur nombre et par la quantité de véhicules entrant dans leur composition.

M. Vidard reconnaît qu'effectivement les voitures à impériale de banlieue ne marchent pas très-longtemps à grande vitesse, dans les circonstances ordinaires; mais il fait remarquer aussi que voilà vingt ans que ces voitures circulent par centaines de trains chaque jour. Dans une aussi longue pratique, les cas de grande vitesse ont été nécessairement très-nombreux; cependant, pas un accident ne s'est produit qui puisse être attribué à la cause énoncée. Les craintes d'accident lui paraissent, dès lors, plus hypothétiques que fondées, d'autant plus, que les voitures à deux étages sont notablement plus stables que les voitures à impériale ordinaires. C'est ainsi que des craintes de ce genre se manifestent à peu près régulièrement à chaque application d'un progrès nouveau et parviennent souvent à le retarder, sans que, la plupart du temps, l'expérience les justifie. Il ne faut donc pas que ces craintes hypothétiques empêchent les essais des nouvelles voitures à grande vitesse. L'expérience fixera la limite supérieure qu'elles peuvent atteindre sans inconvénient.

M. le Président pense que d'après ce qui est dit généralement on ne met pas en discussion l'avantage que la voiture à deux étages peut procurer pour les trains ordinaires. Il croit aussi qu'une combinaison acceptable du système de wagons dit anglais et du type dit américain serait une bonne chose pour le public.

M. Brüll revient sur la question de stabilité. Il combat l'opinion de M. Dieudonné, parce que, d'après les calculs faits par M. Vidard, le centre de gravité de sa voiture vide est situé seulement à 10 centimètres plus haut que le centre de gravité d'une voiture ordinaire, et cela grâce à l'abaissement des longerons et de l'ensemble par rapport au rail. Dans la voiture complétement chargée le centre de gravité est sensiblement à la même hauteur, et ce n'est donc que lorsque l'impériale seule est chargée que le centre de gravité de l'ensemble est un peu remonté.

M. Gaudry dit que dans les trains omnibus il est clair que la partie supérieure sera toujours la plus chargée, car la partie inférieure est réservée aux voyageurs de 1re et de 2me classe peu nombreux dans ces trains relativement au nombre de voyageurs de 3me classe qui montent à l'étage supérieur.

M. Vidard fait observer que dans la disposition qu'il propose l'étage supérieur, partiellement transformé en salon de lecture, etc., ne serait jamais occupé que temporairement, l'autre partie serait occupée par des voyageurs de 1re ou 2me classe.

M. le Président trouve qu'il n'y aura pas à craindre l'envahissement de l'étage supérieur avant l'étage inférieur, car, du moment que ce seraient des places de même prix, on commencera d'abord par remplir le bas.

M. Gaudry, tout en reconnaissant que le matériel américain n'est pas directement applicable à notre exploitation actuelle, trouve que M. Vidard le maltraite un peu; il a voyagé longtemps en Suisse dans de semblables voitures, elles y font un très-bon service, et le public s'en montre très-satisfait. Les troisièmes classes surtout lui ont paru très-bien. Il se hâte d'ajouter que l'on n'a jamais à faire de longs parcours dans ces voitures, et qu'en Suisse il n'y a pas de service de nuit.

M. Dallot craint que dans la voiture à deux étages il ne fasse bien froid pendant l'hiver à l'étage supérieur; déjà dans les voitures de 3e classe ordinaires, les voyageurs souffrent beaucoup, et il pourrait citer à sa connaissance des ouvriers de l'administration qui, partis de Toulon, sont arrivés à Cherbourg avec les pieds gelés.

M. le Président fait remarquer qu'en été le manque d'air et de ventilation dans les 3es classes de certains chemins est au moins aussi désagréable que l'excès du

froid en hiver. Il pense que l'intérêt des Compagnies a autant à gagner que la philanthropie par l'amélioration des voitures de 3me classe.

M. Brüll cite un ouvrage dans lequel il a vu des dessins de wagons américains où l'air ramassé par des ailettes portées par l'essieu était envoyé dans la voiture en passant soit à travers une pluie d'eau pour le rafraîchir pendant l'été, soit à travers les tuyaux d'un calorifère pour le réchauffer pendant l'hiver. — D'autres voitures étaient éclairées au gaz portatif.

M. le Président appelle de tous ses vœux un meilleur éclairage; il est presque impossible de lire en chemin de fer, et les lumières sont placées de manière à éclairer le plafond et non les voyageurs.

M. Dallot fait remarquer que les questions de lumières et autres sont des accessoires, relativement aux défauts capitaux des troisièmes classes.

M. Gaudry pense que les Compagnies cherchent à améliorer ces véhicules, et il invite les membres de la Société à aller voir le dernier modèle de voiture de troisième classe adopté par la Compagnie de l'Est. Non-seulement la voiture a été un peu élargie et les dossiers montés au-dessus de la tête, mais on a placé de chaque côté de la place du milieu deux espèces d'accotoirs pour la tête, de sorte que chaque voyageur peut dormir sans appuyer sa tête sur l'épaule de son voisin. — En outre, il y a un châssis vitré de chaque côté de la portière, ensemble trois châssis mobiles pour chaque face de compartiment, et ils sont munis de rideaux.

M. Jules Morandière rappelle que les Compagnies se conforment aux conditions du cahier des charges, base de leur marché, et qu'elles font même plus que ce qui est exigé par suite de conventions réciproques, qui ont donné naissance à une foule de lignes qui sans cela n'auraient de longtemps vu le jour; les Compagnies sont intimement liées à l'administration, de telle sorte que les voies ferrées sont devenues un *monopole d'État* si l'on peut dire ainsi.

Toute dépense en augmentation de comfort, d'éclairage, de chauffage, etc., sera-t-elle compensée par une augmentation de recette équivalente; c'est là la question? Sinon il se produira un déficit, à couvrir par l'État d'après les conventions faites, c'est-à-dire à prélever sur les contribuables en surplus des impôts ordinaires. Est-ce donc encore la peine de charger l'État de nous chauffer et de nous éclairer, lorsque nous affirmons tous les jours de plus en plus notre droit de contrôle sur les dépenses du gouvernement, et que pour faciliter ce contrôle nous réclamons la décentralisation et l'extension des droits des municipalités.

Pour être logique et pousser le raisonnement à sa limite, avant de prier l'État, le département ou la commune d'imposer une contribution à charge de chauffer et d'éclairer les voyageurs en chemin de fer, il faut éviter les frais de perception en se servant soi-même et en étant tant soit peu industrieux.

M. Morandière déclare que, grâce à l'interposition d'une couverture pliée en huit, et grâce à une de ces chaufferettes si répandues aujourd'hui, il a fait en France et surtout à l'étranger de très-longs voyages en troisième classe dans des conditions supportables, et il le voit faire tous les jours par nombre de personnes.

D'ailleurs, beaucoup d'essais ont été tentés sans succès : le chauffage général par chaufferettes à eau bouillante est inapplicable à cause des lenteurs du renouvellement; le chauffage par un poêle, comme en Suisse et dans le duché de Bade, donne une température fort inégale.

Le procédé de chauffage et de ventilation indiqué par M. Brüll n'a été appliqué

qu'à titre d'essai et sur quelques wagons. Quant à l'éclairage des wagons au gaz portatif, il a été abandonné en Amérique, mais il est très-employé dans la banlieue de Londres.

La comparaison faite par M. Vidard n'est pas complétement exacte : d'une part, le prix moyen français n'est pas applicable au cas où il n'y a qu'une classe unique comme en Amérique ; d'autre part, la comparaison des poids morts de voitures faites dans des pays différents n'est pas possible à cause des différences de construction.

D'après l'analyse faite par M. Leloup des comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils de Londres, notre collègue M. Zerah Colbum indique, comme poids moyen vide des voitures actuelles à 8 roues en Amérique, 12 tonnes, et comme contenance, 60 à 84 personnes : 13m,50 à 18 mètres de longueur de caisse et 16 à 22 tonnes de poids total. En Wurtemberg, ces voitures à bogie de même forme circulent dans les trains express à des vitesses de 50 à 60 kilomètres à l'heure. Ce n'est pas qu'au delà de cette vitesse qu'elles prennent des mouvements désagréables pour les voyageurs. Les voitures actuelles de 3e comprennent au moins 10 compartiments d'environ 1m,30 de longueur, contenant chacun 8 voyageurs, soit au besoin 80 personnes en tout. Le poids est de 2400 à 2800 quintaux (12 à 14 tonnes à vide), soit au plus 175 kilogr. par voyageur. C'est environ 1/4 de plus que les voitures récentes de l'Est, pesant 145 kilogr. par place.

Or, il est constant que le matériel ordinaire allemand à 4 roues est plus lourd que le nôtre (ce qui fait honneur à la carrosserie française) ; il suffit pour s'en convaincre d'examiner les tableaux du dossier de notre 20e section d'examen de l'Exposition de 1867, et cela juste dans cette proportion du 1/2 ou du 1/4 ; donc les véhicules à 8 roues wurtembergeois sont aussi avantageux que les véhicules allemands à 4 roues, et, si de pareilles voitures étaient exécutées en France, leur poids mort ne serait pas supérieur aux autres.

Si M. Vidard réunissait deux de ses voitures, il économiserait les escaliers, appareils de choc et traction, et compenserait ainsi le peu d'augmentation de poids nécessaire pour les châssis.

D'ailleurs, M. Simonin n'a certes pas demandé l'importation du type américain tel qu'il existe, mais bien les facilités et agréments que donnent le couloir et certains détails d'aménagements parfaitement indépendants du reste de la disposition extérieure.

Le matériel américain a été introduit depuis longtemps en Autriche où il a été abandonné, puis en Wurtemberg, d'où il a traversé le lac de Constance pour se répandre dans toute la Suisse allemande. Les escaliers qui conduisent aux plates-formes de chaque extrémité dispensent de l'établissement des quais dans les gares.

Aujourd'hui, tout en renonçant aux longues voitures à 8 roues disposées en avant-train mobile, instables à grande vitesse, pour adopter seulement 4 roues, on conserve néanmoins la disposition primitive de la caisse et le couloir intérieur qui offre de grandes facilités pour le contrôle, le service des lampes avant et après le passage des souterrains, etc., etc. La position du couloir dans l'axe de la voiture a conduit à ne mettre que 4 voyageurs de 3e classe dans la largeur, au lieu de 5 que nous avons ordinairement ; par suite, ils sont très à leur aise, comme vous l'a fait remarquer M. Gaudry. Ce genre de véhicule, à couloir intérieur, et porté sur 4 roues, a été récemment introduit en France par MM. Mangini sur la compagnie des Dombes, de Lyon à Bourg, et l'on se propose de l'étendre à tout un réseau en exécution. La 3e classe a été mieux utilisée en excentrant le couloir de manière à mettre 3 voyageurs d'un côté et 2 de l'autre. La caisse ayant environ 2.85 à l'intérieur, 0.55 sont absorbés

par le couloir, et il reste 2.30 pour les siéges, ce qui est la dimension de beaucoup de 3es classes en service. Ce type a bien des chances pour se répandre dans les chemins de fer d'intérêt local, grâce à la facilité que le couloir procure pour la perception et le contrôle en route : nous pouvons citer, outre les Dombes, les chemins de l'Hérault et de Belleville à Beaujeu. Ces voitures, un peu plus lourdes que celles du matériel ordinaire, ne sont pas plus chères à cause de la suppression de la plupart des portières. Le seul reproche à leur faire, c'est que si les dimensions des ouvrages d'art supérieurs n'ont pas été largement prévues, les véhicules à couloir se prêteront mal à l'adoption des impériales qui procurent un avantage d'utilisation de poids mort très à rechercher pour des lignes de la nature des chemins de fer de cette catégorie.

Quant à la combinaison que propose M. Vidard, elle ne contient pas le couloir en bas, et, par suite, ne satisfait complétement ni le public ni l'exploitation du chemin. En effet, le voyageur ne peut changer d'étage que pendant les arrêts; or, il en désirera beaucoup, tandis que le service de l'exploitation a aujourd'hui, pour les trains-express, tendance à diminuer le temps mis entre les deux points extrêmes par la suppression des arrêts intermédiaires. C'est surtout pour cette raison que les Anglais atteignent des vitesses effectives pour le voyageur de 64 à 70 kilomètres à l'heure, tandis qu'en France, le maximum est 57 kilomètres à l'heure. Une augmentation de vitesse ne pourra être obtenue que contre un supplément de prix, ce qui n'est pas encore adopté par l'opinion publique, il faudra alors employer les deux moyens connus : 1° suppression ou réduction des arrêts, en emportant dans le train tout ce qui est nécessaire et dans ce cas le couloir de communication devient nécessaire; 2° augmentation de la vitesse de marche, et alors, pour assurer de plus en plus la stabilité à pareille vitesse de la voiture suffisamment élevée pour y mettre le couloir, on adoptera l'emploi de caisses et châssis abaissés.

Le matériel usité en Amérique n'est pas du tout pareil aux voitures de la Suisse, comme disposition intérieure. Il n'y a qu'une seule classe de voitures et de billets, toutefois, il y a des wagons spéciaux pour les dames, et les nègres étaient autrefois relégués dans les fourgons avec les bagages. Les wagons ou *cars* consistaient en 2 grandes caisses à couloir longitudinal présentant de chaque côté une série de bancs très-peu rembourrés, à dossiers mobiles. Peu à peu l'esprit égalitaire a cédé devant l'esprit industriel et commercial, mais la forme a été maintenue : tout en conservant la classe unique, on a ajouté pendant le jour les wagons-salons, comparables aux premières classes suisses, où l'on était admis moyennant 1 dollar extra (environ 5 francs). De même, pendant la nuit, on est admis moyennant un supplément dans ces wagons à lits. Il y a même à cet effet des entreprises assez célèbres, comme celle de M. Pullmann par exemple, qui obtiennent des grandes compagnies, moyennant un tarif fixé d'avance, l'autorisation de faire circuler leurs wagons spéciaux pour lesquels ils perçoivent le supplément. C'est ainsi que l'on trouve des wagons-dortoirs, où les lits ont de véritables draps, des wagons-salons, des wagons-salle-à-manger, etc. Bien que ces véhicules commencent à se répandre, on ne peut cependant les regarder encore que comme des exceptions, et il ne sera pas difficile à l'ancien monde de se mettre sous ce rapport au niveau de l'autre.

M. LE PRÉSIDENT exprime son regret de ne pas voir dans l'assemblée un plus grand nombre d'ingénieurs de chemins de fer qui eussent pu apporter de nouvelles informations dans une question si pleine d'intérêt pour tous.

Séance du 5 Novembre 1869.

Présidence de M. Alcan, *Président.*

Le procès-verbal de la séance du 15 octobre est adopté.

M. Contamin demande à faire une rectification à sa communication sur les grues à équilibre automatique.

Il a cru pouvoir, dans sa discussion, attribuer l'idée première de la disposition qu'il a décrite à M. Jambille comme conception, et à la Société des hauts-fourneaux de Maubeuge comme exécution. Des renseignements qui lui ont été adressés depuis, il résulte que le principe de la disposition qu'il a décrite fait l'objet d'une addition de brevet prise par M. Camille Neustadt en août 1861, et que cet ingénieur a fait construire plusieurs de ses appareils, soit pour la Belgique, soit pour les chemins espagnols. Enfin, ce n'est pas M. Jambille qui, le premier, a présenté cette disposition de grue dans son projet de concours à l'École centrale, mais bien M. Liébaut, et lui-même la tenait de M. Neustadt.

N. Nordling remet à la Société le compte rendu statistique (librairie Dunod) de la construction de la ligne de Murat à Vic-sur-Cère, dont il a entretenu la Société au mois de juillet de l'année dernière.

M. le Président présente le livre de M. Simonin sur le *Grand-Ouest des États-Unis*, ainsi que l'ouvrage de M. le vice-amiral Pâris sur l'*Art naval à l'Exposition universelle;* cet intéressant ouvrage est renvoyé à M. Jules Gaudry pour en rendre compte.

M. le Président a la douloureuse mission d'annoncer à la Société le décès de quatre de ses membres, MM. Borel, Courlet, Du Pré et Pepin-Lehalleur.

M. Borel est mort un peu avant l'ouverture de ce canal de l'Isthme de Suez, au succès duquel il avait puissamment contribué.

M. Du Pré était ingénieur en chef honoraire des ponts et chaussées en Belgique, et s'était acquis dans ce pays une grande considération.

M. Ernest Pepin-Lehalleur était sorti en 1841 de l'École polytechnique comme sous-lieutenant du génie. Après avoir donné sa démission, il avait suivi les cours de l'École des ponts et chaussées. Il avait occupé la position d'ingénieur en chef à la Compagnie d'Orléans à Bordeaux avant sa fusion avec la Compagnie de Paris à Bordeaux, et l'on peut citer comme une de ses œuvres la construction de la gare de la Bastide à Bordeaux. Depuis, il s'était consacré exclusivement à l'agriculture, et la Société a entendu avec intérêt les communications relatives au domaine de Coutençon, propriété de M. Pepin-Lehalleur.

M. Maure donne communication de sa note sur le transport des jus sucrés de betteraves par conduite souterraine, système de M. J. Linard, ingénieur. En entretenant la Société de cette grande industrie de la sucrerie de betteraves, M. Maure pense qu'on

se fera facilement une idée de son importance quand on saura qu'elle produit annuellement en France 250 millions de kilos de sucre, et qu'elle est la base d'un impôt qui rapporte 100 millions au Trésor.

Les conditions économiques de cette fabrication se sont modifiées depuis quelques années et ont provoqué la création d'usines plus importantes dont les frais d'établissement sont beaucoup moins élevés et les frais généraux également moindres.

Précédemment, pour travailler de grandes quantités de betteraves dans les usines importantes, il fallait imposer aux producteurs des transports qui dépassaient quelquefois 10 et 15 kilomètres. Ces transports étaient très-onéreux pour les cultivateurs et les amenaient à renoncer à cette production. Alors on a fait la réception dans les terres avec des bascules, et le fabricant a dû faire les transports avec des animaux, des machines routières, de petites voies ferrées, et récemment par un câble sans fin.

Le nouveau système dont M. Maure va entretenir la Société a été appliqué pour la première fois par M. J. Linard, ingénieur aux ateliers J.-F. Cail et Cie.

Ce système consiste en principe à râper la betterave et à en exprimer le jus dans des ateliers appelés râperies, disséminés dans l'intérieur des terres et à refouler ce jus dans une conduite en fonte au moyen d'une pompe jusqu'à la fabrique de sucre centrale qui devra être placée près d'une gare de chemin de fer ou d'une voie navigable.

Le jus est préalablement additionné de chaux pour éviter la fermentation; on jauge son débit au départ des râperies et à l'arrivée à la fabrique. Les tuyaux sont en fonte avec joint à emboîtement et en plomb; ils sont essayés à la fonderie à 15 atmosphères. Le passage du jus dans les tuyaux ne laisse aucun dépôt calcaire ou autre. Ces conduites coûteront de 5 à 7000 francs le kilomètre, suivant leurs diamètres qui sont de 80 à 120 millimètres jusqu'à ce jour.

Le jus produit dans ces conditions revient à un prix un peu plus élevé que s'il était produit à l'usine centrale, mais les frais de transports qui sont économisés représentent une valeur trois fois plus grande que cet excédant de dépense dans la production; on peut d'ailleurs affirmer que par des moyens ordinaires il serait impossible de réunir sur un seul point des quantités de betteraves, qui, dans l'avenir atteindront 100 et 200 millions de kilos par usine.

En résumé ce système permet de créer de grandes fabriques et de les approvisionner sans frais de transports, car le transport du jus ne nécessite qu'une force de 1 à 2 chevaux-vapeur en moyenne. Les planteurs prennent volontiers des engagements à long terme pour livrer leurs betteraves aux râperies. Les frais de fabrication du sucre seront moins élevés, les routes et chemins seront beaucoup moins détériorés. Avec les râperies et conduites souterraines, on ne fait voyager que la matière utile au fabricant, c'est-à-dire le jus, et la pulpe reste de suite à proximité de la ferme. Par ce moyen, il sera possible de livrer à la culture de la betterave des terres *qui* étaient trop éloignées des usines, et également d'envoyer de l'eau sur les plateaux de craie qui en sont dépourvus. Il est évident aussi que, contrairement aux autres modes d'approvisionnement des fabriques, le profil vertical du chemin à parcourir par le tuyau souterrain n'a qu'un intérêt secondaire.

M. le Président remercie M. Maure, et trouve cette question digne de fixer l'attention de la Société. Il demande s'il y a plusieurs systèmes, basés sur le même principe, en présence, et depuis combien de temps dure l'expérience? Y a-t-il des dépôts dans les conduites.

M. Maure répond que, jusqu'à ce jour, il y a eu deux applications, et cette année va être sa troisième campagne de fonctionnement. Il n'y a pas de dépôts, parce que...

tamise le jus. Ce dernier est meilleur, grâce à la chaux additionnée; en somme, c'est le procédé de M. Maumenée, qui n'a pu être appliqué parce qu'il aurait fallu disposer d'une trop grande quantité de vases : ici le tuyau sert de récipient. On a fait des expériences de laboratoire, en mélangeant dans un vase de la chaux et du jus, puis en soumettant aux essais des prises renouvelées pendant quelques jours. On remarquait que le produit allait en s'améliorant à mesure que le contact avec la chaux se prolongeait.

M. Loiseau fait observer que les opérations de laboratoire ne peuvent donner aucune certitude, car la durée des cuites influe sur le produit et peut tromper sur le résultat que l'on attribue alors à une autre cause.

M. Maure admet qu'en matière de sucre il est impossible d'avoir des données exactes. Il cite un directeur de sucrerie, qui, pendant quelques jours, a fait arrêter sa râperie et a marché seulement avec le jus venant par les tuyaux, et qui a constaté une égalité des produits.

M. Loiseau dit que la quantité des betteraves pouvait aussi influer sur ce résultat, il demande si la pompe de refoulement ne s'abîme pas.

M. Maure répond que, grâce à l'interposition d'un vase de sureté entre la pompe et la conduite, il ne s'est produit aucun inconvénient.

M. le Président fait remarquer que si l'ensemble ne fonctionne que pendant 4 mois de l'année, il y a là une certaine improductivité du matériel.

M. Maure trouve la même improductivité avec transport organisé avec des chevaux. Tout le matériel de roulage devient inutile après la campagne, et loin d'en avoir l'emploi aux travaux agricoles, on est amené à vendre les chevaux. C'est du moins ce que tous font.

Les conduites placées à 80 centimètres sous terre, pour éviter la gelée, sont placées en général sous les routes, afin que la visite soit facile. Il n'y a pas non plus besoin d'arrangements avec les propriétaires, et les fuites se décèlent par l'humidité que prend le sol.

M. Nordling s'informe de la manière dont on vide les tuyaux après l'opération.

M. Maure répond qu'on chasse le jus en envoyant de l'eau ; et l'eau elle-même est chassée par le jus.

M. Nordling dit que M. Maure a parlé dans sa note de transports arrêtés par suite de fermetures de routes, cela est-il possible?

M. Maure répond qu'il a vu des chemins abîmés, surtout après le dégel, qui ont été interceptés par les agents-voyers, lesquels jugeaient ces chemins en mauvais état. Le fait se produit dans les départements de l'Aisne, du Nord et du Pas-de-Calais.

M. de Bruignac, n'ayant pas pratiqué la fabrication du sucre de betteraves, ne cherchera pas à discuter les détails du procédé, et se bornera à une observation générale. La méthode de M. Linard pour le transport des jus lui paraît assurément très-remarquable et très-importante, et, elle semble appelée à rendre de grands services; mais M. de Bruignac trouverait exagéré de conclure d'une façon générale, comme l'intéressant rapport de M. Maure y paraît disposé, que le procédé de M. Linard soit toujours préférable. A son avis, le meilleur mode de transport des jus peut varier suivant les cas; il n'est pas possible de le décider *à priori* sans étudier les circonstances spéciales. Le meilleur choix semble exiger, pour chaque application, l'étude complète et comparée des divers systèmes; c'est une question de devis comparatifs, faits avec soin, et éclairés par les circonstances. Sans aborder d'exemple précis, on comprend que ce qui est ici un avantage puisse être ailleurs un inconvé-

nient. Le procédé Linard semble s'adresser particulièrement aux exploitations très-vastes, surtout à celles qui ont leurs betteraves fort loin; mais, pour de moindres quantités ou de moindres distances, où cesse le bénéfice du transport souterrain? C'est toujours une question de chiffres. On cite l'avantage de laisser la pulpe près du cultivateur; mais cela suppose que les cultivateurs habitent chacun au loin au centre de leur culture; si, au contraire, ils sont groupés en village au lieu même de l'usine centrale, il devient préférable d'y transporter la pulpe. On cite l'avantage de prendre sur place la main-d'œuvre des râperies : oui, si cette main-d'œuvre se trouve en effet déjà établie dans ces localités excentriques; non, si les bras sont au contraire établis près de l'usine centrale, et qu'il faille les en amener vers les râperies éloignées. De semblables distinctions seraient en grand nombre. Au résumé, quelque préférable que puisse être souvent le procédé Linard, il semblerait trop absolu d'affirmer qu'il est toujours le meilleur, et une étude dans chaque cas paraît devoir seule fixer la préférence.

M. Maure fait observer que le système n'a pas cette prétention; il a signalé dans sa note les avantages directs qu'il présente; il a en outre d'autres résultats, c'est de ne pas concentrer toute la main-d'œuvre dans une fabrique centrale, ce qui dépeuple les ouvriers pendant la campagne. La distance moyenne de 6 kilomètres permet d'installer les râperies dans les villages, de sorte que les ouvriers sont chez eux.

Le procédé permet de ne transporter que la matière utile. L'addition de 30 p. 100 d'eau en moyenne jointe au 80 p. 100 de jus donnés par 100 kilogrammes de betteraves, font qu'il faut transporter le même poids par les tuyaux, mais on engage toujours le retour de la pulpe qui reste dans les villages, près des fermes, et pour ainsi dire à pied-d'œuvre.

En réponse à plusieurs questions du *Président*, M. Maure indique qu'une superficie de 3 à 4000 hectares est généralement nécessaire pour une usine traitant 100,000,000 de kilogrammes de betteraves. Jusqu'à ce jour, on a posé 110 à 120 kilomètres de tuyaux, et il y en a 95 kilomètres en construction cette année.

M. Loiseau fait observer qu'à chaque râperie il y a une machine à vapeur spéciale.

M. Maure a tenu compte dans l'évaluation des frais du surcroît de dépenses.

M. le Président pense qu'après la lecture de la communication dans le Bulletin une discussion intéressante et utile pourra s'engager.

M. Brüll reconnaît que pour certains cas, comme les pays de montagnes, le procédé est très-avantageux, et permet d'installer de grandes fabriques; mais, y a-t-il avantage à faire de si grandes usines? De plus, l'établissement des râperies oblige à prendre les betteraves dans la région où elles se trouvent, et ne subira-t-on pas aussi des cours forcés?

M. Maure répond que les grandes usines procurent des économies de frais généraux. Quant aux râperies, on ne les installe que contre des engagements qui sont faits, comme à l'ordinaire, pour 15 ans et plus. Il est d'ailleurs un fait reconnu, c'est qu'il suffit au début de s'assurer du tiers de ses besoins pour avoir l'année suivante plus qu'il ne faut. Cette culture est avantageuse pour l'agriculteur, d'autant plus que les contrats sont réciproques et que l'on s'est engagé à livrer ou à prendre tout ce que l'on trouvera.

M. Deprez cite l'exemple d'un chemin de fer aérien à câble, système Hogdson, transporte 12^t de betteraves à l'heure.

M. Maure pense que l'établissement de ce câble n'est pas toujours facile, surtout pour les courbes; d'ailleurs les cultivateurs s'engageront-ils d'avance pour un câble.

M. Deprez dit que, dans certains cas, le câble procure cet avantage que l'on peut prendre des betteraves à des points intermédiaires sur la route.

M. le Président, revenant à la question de M. Brüll, montre que la force des choses détermine la création des grandes industries et des grandes usines : car le bénéfice réalisé par article est très-petit et devient moindre de jour en jour.

Il pense que dans un avenir peu éloigné la question du transport sera résolue par de petits chemins de fer, dont la nécessité se fera de plus en plus sentir dans les pays sucriers riches et peuplés.

Séance du 19 Novembre 1869.

Présidence de M. E. Flachat, *Président honoraire.*

Le procès-verbal de la séance du 5 novembre est adopté.

Il est donné communication de l'extrait d'une lettre de M. Pirrel, directeur du chemin de fer du nord de l'Espagne adressée à M. E. Flachat, le 11 novembre 1869, sur l'emploi de la contre-vapeur sur le chemin de fer du nord de l'Espagne.

« Je viens de faire une tournée sur la ligne et de suivre l'emploi de la contre-vapeur; j'avais emmené avec moi un chef mécanicien et j'ai vu fonctionner la contre-vapeur parfaitement. Dans tout le trajet du Guadarrama, comme dans celui de la Brujula et celui des Pyrénées, on a pu descendre très-régulièrement et sans se servir des freins du train; les mécaniciens ne demandent plus les freins, sauf dans des cas exceptionnels.

« J'ai fait ralentir la vitesse sans secousses mais très-rapidement à celle du pas d'un homme et cela sans faire cracher la machine.

« Les mécaniciens marchent à l'eau, ils n'ouvrent le robinet de vapeur que pour la mise en train, puis ils le referment et règlent l'ouverture du robinet de prise d'eau suivant la vitesse et en regardant la pluie qui tombe sur le premier wagon. On n'est pas incommodé par la pluie sur la machine comme on l'était autrefois. »

Extrait d'un rapport de M. Germon, ingénieur du matériel, à M. Pirrel, du 6 novembre 1869.

« Les mécaniciens font aujourd'hui d'une manière générale usage de l'eau seule et n'ouvrent, par précaution, le robinet de vapeur qu'au moment de la mise en marche; j'ai donné l'ordre d'enlever les bielles d'accouplement des deux robinets, et la plupart des machines en sont aujourd'hui dépourvues.

« J'ai visité la ligne du Midi et celle d'Orléans, l'emploi de la contre-vapeur n'y est pas aussi généralisé que sur la nôtre.

« L'appareil est appliqué à toutes les machines en service sur le nord d'Espagne, et les mécaniciens en font usage aux descentes des Pyrénées et du Guadarrama, à

tous les trains et à la descente de la Brujula, lorsque les trains sont fortement chargés.

« Tous les ingénieurs qui ont traversé la ligne, ont remarqué, comme vous avez dû le faire souvent vous-même, la régularité avec laquelle les trains descendent les fortes rampes du Guadarrama et des Pyrénées sans appels aux freins.

« Nous hésitions pour savoir si le robinet de vapeur devrait être totalement supprimé; l'indication de M. Le Chatelier sur l'emploi d'un petit filet de vapeur dans les descentes de rampes de 10 millimètres nous décidera à le maintenir. Sur une grande partie de notre ligne, en effet, cette disposition pourra être avantageusement appliquée; elle est préférable au moyen qu'employaient quelques mécaniciens et qui consistait à ouvrir très-peu le régulateur afin de lubrifier les cylindres à la descente.

« Nous ne croyons pas possible de nous dispenser d'appareils de changement de marche à vis pour les machines à huit roues. Si les leviers de quelques machines à tiroirs en fonte se manœuvrent facilement, il en est d'autres en assez grand nombre qui ont des tiroirs en bronze dont la manœuvre est souvent très-difficile; nous avons, en attendant mieux, donné aux mécaniciens des appareils (demi-cran) qui leur permettent de manœuvrer le levier sans s'exposer à se blesser, mais ce n'est qu'un palliatif, et il convient de munir toutes les machines à 8 roues d'appareils à vis.

« En résumé, malgré les défauts de l'appareil existant, nous sommes arrivés à généraliser complétement l'usage de la contre-vapeur (eau) dans les descentes des Pyrénées et du Guadarrama.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre par laquelle M. Hangard, membre de la Société, tout en reconnaissant la justesse des observations présentées par M. Simon dans la séance précédente, rappelle ce qu'il a résumé en 1867 dans son rapport sur la manutention et les appareils de levage employés au déchargement des colis, en ce qui concerne les difficultés d'emploi de la grue exposée par la Société des hauts-fourneaux de Maubeuge.

« La grue de la Société anonyme des hauts-fourneaux de Maubeuge, de la force de 3000 kil., à équilibre constant et contre poids automoteur, a été d'un emploi fort difficile. La queue en fonte, sur laquelle roule le contre-poids, présente une saillie au moins égale à la portée de la flèche. Il en résultait une impossibilité presque absolue de faire opérer à l'appareil, dans l'intérieur du palais, une révolution complète sur lui-même, à cause du peu de largeur des chemins où la voie ferrée était établie. La manœuvre demandait les plus grandes précautions, tant dans l'orientation, pour ne pas aller heurter, soit les murailles de la galerie, soit les objets déjà mis en place, que pour monter ou descendre le fardeau.

« Ce système d'appareil, conçu d'après une idée ingénieuse, ne s'emploie convenablement que sur les chantiers où l'on est libre de lui donner tout l'espace désirable pour sa libre évolution. On doit surtout lui reprocher le renversement inévitable de la grue, dans le cas de rupture d'élingues ou de chaîne, ou de chute de fardeau mal élingué, comme l'expérience l'a prouvé. » C'est à la disposition seule de l'emplacement où elle a été appelée à fonctionner, qu'il faut attribuer le mauvais service de grue de la Société de Maubeuge.

M. Hangard termine sa lettre en faisant remarquer que cette solution ingénieuse est peu applicable à des grues de trois tonnes, comme celle de l'Exposition, et que son adoption ne peut présenter d'avantages pratiques que pour des grues roulant de sept à dix tonnes et à longue volée.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Deprez, pour sa communication sur les études géométriques des appareils de distribution à un seul et à deux tiroirs, et la description de nouveaux systèmes permettant d'améliorer la distribution.

M. DEPREZ : On connaît depuis longtemps la théorie des appareils de distribution à un seul tiroir commandé soit par un excentrique, soit par une coulisse de Stephenson ou un système équivalent.

Le mouvement du tiroir est dans tous les cas représenté par l'équation $\xi = A \cos \omega + B \sin \omega + \delta$ dans laquelle ξ désigne la distance du milieu du tiroir à sa position moyenne ; ω, l'angle décrit par la manivelle motrice compté à partir du point mort; A et B, des constantes dont la valeur s'obtient en faisant successivement $\omega = 0$ et $\omega = 90°$. Quant à la quantité δ que M. Zeuner nomme terme de correction et qu'il considère comme négligeable dans la théorie de la coulisse, il joue dans ce dernier appareil un rôle important, puisque c'est grâce à lui que les phases de la distribution peuvent être rendues symétriques sur les deux faces du piston.

Je me suis proposé de trouver un tracé graphique très-simple permettant de représenter à première vue toutes les circonstances importantes de la distribution, quand on admet, — ce qui a généralement lieu dans une distribution bien réglée, — que le mouvement du tiroir *par rapport au piston* est le même que *si la bielle motrice était infinie* et que le terme δ fût nul.

La difficulté de décrire ce diagramme sans l'aide de figures qui ne trouveraient point leur place dans le procès-verbal, m'engage à renvoyer le lecteur soit à l'ouvrage de M. Combes intitulé *Études sur la machine à vapeur*, soit au travail que je publierai dans les Mémoires de la Société.

Je me contenterai de dire ici que ce tracé graphique m'a conduit à combiner un appareil qui en est la réalisation matérielle. Je m'empresserai de porter à la connaissance de la Société les résultats que cet appareil aura produits dans les expériences auxquelles on le soumet en ce moment. D'ailleurs, il en existe un modèle très bien construit à l'École des Mines où peuvent l'examiner les personnes que la question intéresse.

Quant à présent, les avantages qu'il paraît avoir sur les autres appareils actuellement connus, tels que la coulisse de Stephenson, de Gooch, etc., sont les suivants :

1° Nombre d'articulations très-réduit (six).

2° Suppression d'un excentrique et de la coulisse.

3° Organes très-simples et en très-petit nombre (il est uniquement composé de tiges rigides).

4° Distribution très-symétrique pour les deux sens de marche.

5° Insensibilité complète aux oscillations du châssis (dans le cas d'une locomotive sur les ressorts de suspension.

6° Avance invariable pour tous les crans de la détente.

J'ai cherché en outre à produire avec un seul tiroir une distribution aussi bonne qu'avec les appareils à deux tiroirs. Mon diagramme conduit immédiatement aux conditions qu'il faut remplir pour atteindre ce but. Il montre qu'il suffit pour cela d'imprimer à l'excentrique qui commande l'appareil de distribution un mouvement de rotation qui satisfasse à la relation $\frac{\operatorname{tg} \omega_1}{\operatorname{tg} \omega} = \text{const.}$ ω_1 et ω désignant les angles décrits respectivement par l'excentrique et par la manivelle; la constante doit être plus grande que l'unité.

Cette relation peut être satisfaite d'une manière très-simple dans les machines conjuguées à angle droit en faisant conduire l'excentrique qui commande la distribu-

tion de la première machine par un plateau portant une rainure dans laquelle glisse un bouton attaché en un point de la bielle motrice de la seconde machine, et réciproquement. Pour faire apprécier l'amélioration qui en résulte, je donnerai l'exemple suivant dans lequel je compare ainsi la distribution obtenue à celle d'une très-bonne coulisse de Gooch.

	Appareil nouveau.	Coulisse de Gooch.
Recouvrement.....	30 millim.	30 millim.
Avance linéaire.....	7.5 millim.	7.5 millim.
Course du tiroir.....	82 millim.	82 millim.
Ouverture maxima des lumières.....	11 millim.	11 millim.
Durée de l'admission en centièmes de la course..	10 %	30 %
Durée de la compression en centièmes de la course.	10 %	30 %

J'ai supposé dans cette comparaison que le rapport $\frac{\text{tg } \omega_1}{\text{tg } \omega} = 3$.

M. Maldant dit que, dans le service des machines à vapeur, il y a des cas assez nombreux où il est avantageux que l'avance du tiroir *croisse avec la détente*, principalement lorsque les machines sont soumises à des arrêts fréquents. Dans ce cas, la plus grande vitesse de la machine correspond habituellement à sa marche à la plus grande détente; et, c'est dans le cas de la plus grande vitesse, que la plus grande avance est nécessaire.

Il voudrait savoir si la très-ingénieuse combinaison de M. Deprez permet d'obtenir sans inconvénient le résultat précité. »

M. Deprez répond qu'il faudrait dans ce cas ajouter une coulisse à son appareil.

M. Dieudonné donne quelques renseignements sur les essais qui ont été faits au Chemin de fer de l'Est sur l'appareil de M. Deprez. Dans l'appareil de distribution qui a été expérimenté, la période de compression était moindre qu'avec la distribution ordinaire; il en résulte un certain avantage pour la marche à *contre-vapeur*, dans laquelle la période de compression devient période de détente.

M. le Président remercie M. Deprez de sa communication; il exprime le regret que les intéressantes démonstrations présentées par M. Deprez ne puissent être, à cause de leur étendue, insérées dans le compte rendu de la séance, afin d'en faciliter la discussion; il invite M. Deprez à en rédiger le résumé, et à préparer le plus tôt possible et *in extenso* le travail qu'il a l'intention d'insérer dans le Bulletin de la Société.

Cette étude, qui comprend l'ensemble des conditions géométriques de la distribution, est d'une utilité qui s'étend à tous les systèmes de machine à vapeur, et il est d'autant plus important de répandre les notions théoriques sur ce sujet, qu'en général les machines confiées à des simples mécaniciens éprouvent dans leur distribution des altérations et des perturbations qui leur enlèvent une grande partie de leur puissance motrice. Il y a lieu de se féliciter que la Compagnie du chemin de fer d'Orléans se soit décidée à expérimenter le système de distribution de M. Deprez.

M. Jules Morandière rappelle les paroles de M. Alcan, président, dans son discours d'ouverture. L'un des buts de la Société est « de poursuivre par l'étude des « questions d'économie industrielle, d'administration et d'utilité publique, l'application la plus étendue des forces et des richesses du pays. » Or, éviter au pays d'engager dans certaines opérations un capital qui peut être mieux utilisé, c'est

ces forces et ces richesses en faisant apercevoir les écueils. Nous croyons donc remplir un devoir en venant exposer devant la Société ce qui paraît être une voie dangereuse pour les chemins de fer d'intérêt local.

Si la discussion qui suivra prochainement fait ressortir les faits, il en résultera pour le public un enseignement d'autant plus salutaire que cet avis est présenté non pas comme une sorte d'arrêt de doctrine rendu par un corps délibérant, mais bien comme une sorte d'examen dont chacun peut se rendre compte, renseignements et pièces en main.

L'établissement d'un chemin de fer d'intérêt local exige une série nombreuse de formalités administratives et techniques qui n'aboutissent que difficilement si elles ne sont pas dirigées par une même personne. Or, ce sont certainement les ingénieurs civils qui, par leur instruction étendue, sont le plus aptes à se mettre rapidement à la hauteur de la tâche à remplir.

Malheureusement, un ingénieur n'apporte pas de capitaux avec lui, et ceux-ci sont toujours difficiles à trouver pour un chemin d'intérêt local. Aussi voit-on dans beaucoup de cas les comités d'organisation faire donner la concession à un entrepreneur de travaux qui les couvre de son crédit, et se réserve d'exécuter le chemin. Des actions et obligations sont émises pour subvenir à la dépense totale; mais, lorsque la ligne est livrée à l'exploitation, s'il y a déficit, ce sont les porteurs de titres qui en souffrent: l'entrepreneur n'ayant plus conservé dans la ligne qu'un faible intérêt, ne fait qu'une perte minime, largement compensée par les bénéfices réalisés par lui pendant la période de construction.

D'un autre côté, nous voyons tous les jours surgir des soi-disant *systèmes économiques* qui s'offrent au public et surtout aux conseils généraux des départements, et notre intention est de dire ici un mot de deux de ces systèmes : le système mixte (Larmanjat) et le système autrefois dit *uno-rail* (Goudal et Saint-Pierre).

Système de M. Larmanjat [1].

Un seul rail porte la charge des véhicules dont les deux roues principales sont dans l'axe de la voie.

Pour assurer l'équilibre au repos et en tout temps, une paire de roues est placée dans le milieu de la longueur du wagon, comme les roues des véhicules ordinaires, et porte sur le sol. Les ressorts de cette paire de roues sont très-flexibles, de sorte que les dénivellations font varier fort peu la charge qu'elles supportent.

Pour la locomotive, les roues motrices prennent leur adhérence sur le sol, les roues porteuses reposent sur le rail.

Tout le matériel est très-léger. La locomotive routière pèse de 5 à 6 tonnes, les wagons de 1t,5 à 2 tonnes.

Un chemin d'expérience, construit entre Le Raincy et Montfermeil, fonctionne depuis environ un an.

M. Larmanjat pense qu'il obtient plus d'adhérence en faisant porter sur la route les roues motrices de la machine (nous faisons des réserves pour ce point sur lequel nous appellerons ultérieurement l'attention de la Société), et que, le rail recevant 2/3 ou 3/4

1. Un de nos collègues, M. Alfredo Cottrau, fait connaître, par une lettre adressée au Président, et datée de Naples, 15 novembre 1869, qu'il a dès 1866 proposé à la direction des Chemins de fer méridionaux d'Italie, un système basé *sur l'adhérence des roues motrices sur le sol*. Il y a deux files de rails de support.

de la charge des wagons, les résistances du train ne sont pas beaucoup plus grandes que sur un chemin de fer. L'auteur du projet chiffre ces avantages dans plusieurs brochures et dans une note envoyée aux conseils généraux, et comme le roulement des roues latérales détruit rapidement le macadam, il propose de mettre le plus souvent une ou deux files de longrines en bois sous ces roues.

Au premier abord, ce système paraît séduisant [1]; mais si nous cherchons à comparer les dépenses d'établissement du chemin de M. Larmanjat avec celles d'un chemin ordinaire, à petite voie et matériel de même poids, nous nous apercevrons facilement qu'elles diffèrent peu.

En effet, lorsque la charge reposera sur deux rails au lieu d'un seul, chacun d'eux pourra être presque moitié plus léger. D'autre part, le cube de bois des petites traverses et des longrines employées par M. Larmanjat suffira pour les traverses du chemin ordinaire. Il est évident également pour un ingénieur que le matériel d'un chemin ordinaire est beaucoup moins cher que celui du système mixte.

En faisant le calcul pour un chemin ordinaire à voie de 1 mètre de largeur et de 20 kilomètres de longueur, on trouve une dépense totale de. . . . . 269,000 f.
là où M. Larmanjat indique. . . . . 270,000 f.
c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence.

Or, dans l'exploitation, un chemin à deux files de rails donnera toujours bien moins d'entretien qu'un chemin mixte, tant pour l'infrastructure que pour le matériel, et les dépenses de traction seront bien inférieures sur le chemin de fer ordinaire.

Conclusion. Le chemin à deux files de rails est donc plus économique que le système mixte, soit comme établissement, soit comme entretien, soit comme exploitation.

Il reste trois objections :

1° Un chemin ordinaire constitue une saillie sur le sol et ne peut être employé sur le bord des routes étroites ?

Il est prouvé, par l'expérience du Raincy, que la saillie du rail de M. Larmanjat, s'élevant théoriquement de 2 centimètres seulement au-dessus du sol, ne peut-on toujours parfaitement entretenue en cet état, et devient en certains points capable de gêner la circulation des véhicules ordinaires. L'auteur du système songe du reste à employer un rail en gouttière, mais alors il triple la résistance de son train à la traction.

Il faut donc franchement accepter l'isolement d'une bande de terrain, en multipliant les traversées à niveau si le besoin en est.

2° Un chemin ordinaire n'admet pas de *courbes aussi raides* que le système mixte?

Il est vrai que, grâce à l'emploi de pivots pour les roues extrêmes, M. Larmanjat accepte des courbes de 5 mètres de rayon. Mais si cela devient nécessaire, on pourra le faire avec deux files de rails, en employant soit la disposition des voitures américaines *à bogie*, soit l'articulation plus simple de M. Arnoux, bien suffisante à la vitesse des chemins secondaires.

3° Le système mixte admet des *rampes plus fortes que tout autre.*

Il suffit de citer le chemin de MM. Molinos et Pronnier, à Tavaux-Pontséricourt pour montrer, par expérience, que la locomotive ordinaire remorque, sur rampes à 7 centimètres 1/2, un poids égal au sien; or c'est ce que fait la locomotive de M. Le

1. Voir un rapport au conseil général de l'Yonne (*Journal officiel* du 5 octobre).

manjat, et pas plus. Il lui reste un seul avantage de pouvoir encore fonctionner s'il s'agit de rampes de plus de 8 centimètres par mètre.

Système de MM. Goudal et Saint-Pierre [1].

Autrefois appelé *mono-rail*, parce que le rail central du chemin du Mont-Cenis était seul conservé dans ce système comme moyen de touage et de guidage. Les voitures et wagons roulaient sur des jantes lisses, d'abord sur le macadam; plus tard on mit sous les roues des bandes en asphalte ou en béton comprimé. On a également songé à employer des longrines en bois, enfin on s'est décidé franchement à revenir à l'emploi de deux rails en fer sous les roues de support.

Or le principe de cette combinaison est entièrement dans le domaine public; les dispositions des détails spéciaux sont seules brevetables.

M. Morandière entre dans quelques détails sur le système de MM. Goudal et Saint-Pierre sur la disposition de la voie et de la machine qu'ils projettent, et il en démontre l'infériorité sous tous les points de vue par rapport au système ordinaire. Il présente également quelques considérations sur l'organisation statutaire des sociétés de chemins de fer d'intérêt local, et particulièrement sur celles dans lesquelles les inventeurs apportent un brevet dont la rémunération est fixée d'avance dans l'apport social et en absorbe une grande partie avant que l'expérience en ait consacré le mérite.

M. le Président remercie, au nom de la Société, M. Morandière, pour l'opportunité et l'intérêt de sa communication. Il appartient aux ingénieurs plus qu'à tout autre de signaler les écarts de la spéculation dans les affaires d'intérêt public. Les études préliminaires sur la dépense et le produit de ces entreprises manquent en général, ou elles sont faites avec tant de parti pris, que l'on peut considérer les capitaux engagés dans les entreprises auxquelles s'appliquent les critiques de M. Morandière comme très-aventurés.

M. le Président signale également l'erreur que l'on commet en prétendant que la machine routière a une supériorité d'adhérence sur la machine locomotive; en réalité, son infériorité, sous ce rapport, est en rapport inverse des surfaces de contact, c'est-à-dire qu'elle a 150 à 200 fois moins d'adhérence. De ce que l'accroissement de largeur des roues de la machine routière doit être en raison du défaut de dureté du sol de la route qu'elle parcourt, on la suppose capable d'une adhérence indéfinie; mais on oublie que, dans ce cas, la résistance que la machine éprouve à sa propre translation, vient en diminution de sa puissance utile.

En un mot, tout ce qui accroît le frottement de roulement est perdu en puissance de traction. La théorie contraire mènerait à cette bizarre conséquence que la machine routière aurait une adhérence supérieure à son poids, même lorsque étant embourbée profondément, elle résisterait, comme une ancre, à un effort de traction supérieur à son propre poids.

M. Morandière fait à ce sujet le calcul suivant :

La surface de contact d'une roue de locomotive peut être évaluée à 150 millimètres carrés pour 6 tonnes de charge, soit 40 kilogr. par millimètre caré. Dans une locomotive routière, on peut estimer cette surface à 20000 millimètres carrés pour une

1. Compagnie des Chemins de fer routiers.

charge de 5 tonnes par roues, soit 0,25 par millimètre carré, c'est-à-dire 160 fois moins que pour la locomotive ordinaire.

Dans cette dernière, 1000 kil. de poids adhérent correspondent (avec un coefficient de 1/7) à 143 kil. d'effort résistant.

Si on suppose une résistance de 5 kil. par tonne, la locomotive remorquera 28t.

Pour une locomotive routière 1,000 kil. de poids adhérent correspondent (avec un coefficient de 1/3) à 333 kil. d'effort résistant.

Si on suppose une résistance de 25 kil. par tonne, la locomotive routière remorquera seulement 13t3.

M. Morandière donne ensuite quelques renseignements complémentaires au sujet de la marche à suivre dans les demandes de concessions de chemins d'intérêt local.

La concession d'un chemin de fer d'intérêt local est donnée par le conseil général; « l'utilité publique est déclarée, et l'exécution est autorisée par décret délibéré en conseil d'État, sur le rapport du ministre de l'intérieur et des travaux publics. » (Article 2 de la loi du 12 juillet 1865, sur les chemins de fer d'intérêt local.)

D'après le titre Ier de la loi du 3 mai 1841, le décret d'utilité publique implique une enquête préalable *de commodo et incommodo* faite suivant les formes tracées par l'ordonnance du 18 février 1834.

M. Morandière fait remarquer que la loi du 12 juillet 1865 ne dit pas à quel moment cette enquête doit être faite. Mais il ajoute qu'aux termes de la circulaire ministérielle jointe à la loi et lui servant de commentaire, l'enquête peut se faire soit avant, soit après l'obtention de la concession près du Conseil général.

M. Maldant dit qu'on a essayé tout dernièrement à Paris une locomotive routière, système Thomson, dans laquelle on avait garni les roues motrices de forts bandages en caoutchouc destinés à augmenter l'adhérence des machines sur le sol.

La question de durée de ces bandages a seulement une grande importance, vu leur grande valeur (3600 francs pour la machine essayée).

M. le Président fait remarquer qu'il est très-important de revenir fréquemment sur cette question des chemins d'intérêt local. Il rappelle qu'à côté de chemins pouvant être classés dans cette catégorie, et ayant très-bien réussi comme les chemins de Commentry, de Blanzy, de Tavaux Pontséricourt, etc., il existe un très-grand nombre de tentatives n'ayant pas abouti faute de direction technique suffisante; la construction de la plupart de ces chemins étant tentée, sans l'intervention d'aucun ingénieur, par des entrepreneurs intéressés à réaliser leur bénéfice sur la construction seule.

MM. Boubée, Elmering, Goldenberg, Huguenin, Lewandowski et Macabis ont été reçus membres sociétaires, et M. Agache, membre associé.

Séance du 3 Décembre 1869.

Présidence de M. Michel Alcan.

Le procès verbal de la séance du 19 novembre est adopté.

M. le Président annonce que M. Ferdinand de Lesseps vient d'être promu au grade de Grand'Croix dans l'ordre impérial de la Légion d'honneur et que M. Champouillon a été nommé chevalier du même ordre.

M. le Président fait part du décès de M. Morizot, membre associé.

M. Benoit-Duportail adresse à la Société une lettre dans laquelle il dit que l'industrie a, comme la politique et l'art militaire, ses titres de gloire dont elle peut célébrer le centenaire.

De ce nombre est la machine locomotive qui, depuis un siècle, a révolutionné profondément le monde civilisé. C'est assurément l'une des découvertes les plus fécondes des temps modernes, et son histoire montre combien l'enfantement des plus grandes choses est souvent long et pénible.

Il y a juste cent ans que la première application de la vapeur à la locomotive a été faite, en 1769, sous le ministère du duc de Choiseul, par un français nommé Nicolas-Joseph Cugnot, né à Void, en Lorraine. Cette première tentative, qui nous paraît informe aujourd'hui, et qui du reste a échoué à cette époque, a été l'origine du plus merveilleux instrument de transport que nous possédions : la locomotive.

M. le Général Morin et notre honorable collègue M. Tresca conservent religieusement dans les galeries du Conservatoire impérial des Arts et Métiers la machine de Cugnot.

M. le Président rappelle que 1769 fut aussi l'année de l'invention, à proprement parler, de la filature automatique. Au contraire de l'invention de la locomotive à vapeur, le principe, l'organe essentiel de celle-ci n'a pas été changé; c'est l'assemblage des cylindres à mouvement différentiel qui échelonnent les brins les uns à la suite des autres pour former un fil. Une patente anglaise donne le privilége de cette invention à un certain Paul Louis, d'origine sans doute française.

L'idée, quelque temps infructueuse, fut reprise par Arkwright. Il changea quelques dispositions, réussit parfaitement et arriva promptement à une fortune colossale. Le titre de baronnet vint en outre récompenser le service qu'il avait rendu à l'industrie dont il avait créé une nouvelle branche.

M. le Président donne ensuite la parole à M. Gaudry pour sa communication sur les nouvelles voitures à voyageurs du chemin de fer de l'Est.

Dans de précédentes discussions on a comparé les voitures du type américain avec le système anglo-français à compartiments, et aux wagons à double étage.

Le matériel de la Compagnie de l'Est comporte des voitures du système anglo-français, sauf des trains impériaux qui ont emprunté quelques particularités du sys-

tème américain. Dans ces dernières années, elle a construit un certain nombre de voitures à double étage, avec couloir intérieur dans le haut et entrée par les extrémités.

Certaines lignes d'intérêt local ont adopté le type américain suisse.

M. Gaudry dépose, pour être joints au dossier de la 20e section de l'Exposition de 1867, les dessins du wagon suisse ordinaire et des deux wagons de l'Est qui sont le principal objet de sa communication.

Il fournit en outre des tableaux où sont groupées les dimensions de ces diverses voitures.

Les wagons du type américain, nécessaires pour les grands voyages comme il s'en fait en Amérique, ont en outre certains avantages comme agrément; faciles à ventiler et à chauffer, ils permettent en outre de jouir du paysage, et pourront être introduits sur quelques embranchements secondaires de l'Europe.

Mais, à de rares exceptions près, le type anglo-français convient le mieux aux grands voyages dans nos pays.

Le matériel neuf de la Compagnie de l'Est comprend aujourd'hui 520 voitures de 3 classes, plus 66 à deux étages et 130 fourgons à bagages à panneaux de tôle.

Les principaux perfectionnements résident, pour les voitures de 1re classe, dans l'augmentation des dimensions, la faculté de relever l'accoudoir du milieu et l'adjonction de coupés à 3 lits.

Les voitures de 2e classe sont plus radicalement transformées. D'excellentes garnitures, six fenêtres de même hauteur, une augmentation des dimensions, en font presque l'égale de la voiture de 1re classe.

La voiture de 3e classe se recommande encore davantage à l'attention. Il y a 8 compartiments dont un à cloison entière pour former au besoin compartiment de dames. Les bancs et les dossiers sont cambrés à l'anglaise et très-commodes; il y a des accotoirs de tête à chaque place. Les 6 fenêtres de chaque compartiment sont mobiles et munies de rideaux, et l'intérieur du wagon est peint en couleur claire et éclairé par trois lampes.

Les caisses des voitures sont en chêne et frêne, les cloisons et bancs en sapin, les panneaux en tôle et les toitures en zinc. Les longerons sont en fer à double T, les roues à moyeu de fonte et rais de fer à pincettes, sans faux cercle.

Les bandages et essieux en fer de Niederbronn sont les plus employés; il y en a aussi en métal Bessemer, et on en essaye en acier suédois.

Les boîtes à huile sont du système Dietz ou Delannoy, quelques-unes sont du système Piret, à hélice relevant l'huile; les voitures à deux étages sont munies de la boîte Basson à filtrage d'huile. Les freins Stilmant sont appréciés et le nouveau système automoteur de Dorré et Lefevre est admis à entrer en service. On a renoncé à l'adjonction dans le fourgon à bagages d'un water-closet, dont on a reconnu que les voyageurs ne se servaient jamais.

Les voitures à deux étages desservent les embranchements d'Alsace et la banlieue de Paris. Elles sont spécialement appréciées sur la section de Spa : les unes n'ont que des 3es classes; d'autres ont des compartiments de 1re et de 2e.

M. Nordling rappelle que le Wurtemberg emploie les wagons du type suisse, très-appréciés du public pour la facilité des réunions et des conversations, plus que pour la contemplation du paysage.

M. Vuillemin observe que les trains internationaux sont trop rapides pour des sortes de voitures.

M. Regnard dit qu'il a eu récemment occasion de visiter le chemin de fer des Dombes, de Lyon à Bourg, dont le matériel, du type suisse, lui a semblé commode et bien approprié à l'exploitation de cette ligne.

M. Vuillemin demande si ces wagons sont bien propres au service des chemins d'intérêt local, n'ayant pas les trois classes; et obligeant à employer par suite un plus grand nombre de voitures.

M. Nordling fait observer qu'il existe en Allemagne des wagons mixtes de ce système.

M. le Président croit devoir appeler l'attention de la Société sur les plaintes de l'industrie relatives à l'application des tarifs différentiels. Il est plus avantageux de faire envoyer certaines marchandises à l'étranger pour les faire ensuite rentrer en France, que de les recevoir directement.

L'Alsace, par exemple, trouve plus d'avantage à faire venir les cotons du Havre en Suisse, pour les faire ensuite revenir à Mulhouse, qu'à les recevoir directement du Havre.

Bien que la question soit plutôt du domaine économique que du domaine purement technique, M. le Président demande s'il n'y a pas de remède à un tel état de choses.

M. Mayer répond que les faits qui viennent d'être indiqués auraient peut-être besoin d'une vérification; que d'ailleurs une question de cette importance mériterait une discussion approfondie et ne saurait être convenablement traitée d'une manière incidente. Sans préjuger ce qui pourrait être répondu à cet égard, il observe qu'on a dû adopter pour le transit des tarifs très-réduits, sous peine de voir les cotons prendre la route d'Anvers par exemple au lieu de celle du Havre, et arriver en Suisse par l'Allemagne, au lieu d'y aller par la France.

M. le Président s'applaudit d'avoir soulevé cette question et croit désirable qu'elle revienne en discussion et soit traitée à fond, ne fût-ce que pour fournir aux ingénieur des chemins de fer l'occasion d'expliquer que ces tarifs différentiels ne proviennent pas d'une infériorité de nos moyens d'exploitation.

M. le Président donne la parole à M. Nordling pour entretenir la Société d'un ouvrage publié en Allemagne en août 1869 par le baron de Weber, ingénieur distingué, directeur des Chemins de fer de l'État saxon, et intitulé : « Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise. » (De la stabilité des assemblages, ou mieux de la stabilité de l'ensemble du système des voies de fer). — Paris, librairie Franck.

Cet ouvrage a été provoqué par des discussions soulevées par quelques déraillements en rase ligne, pour lesquels aucune explication plausible n'avait pu être trouvée. M. Nordling déclare qu'il n'en a pas lu depuis vingt ans qui ait autant complété et étendu ses connaissances en matière de voies de fer. C'est de la science positive, basée sur plus de 500 expériences faites en grand sur les voies en exploitation, et entreprises *ad hoc* par un homme sincère et patient, sans mélange aucun de calculs abstraits, échafaudés sur des hypothèses conçues en dehors de la réalité.

L'ouvrage se divise en deux parties : la première comportant un exposé historique très-complet; et la seconde relatant les résultats d'expériences.

Dans la première partie, au milieu d'une foule de données intéressantes, on trouve que les rails à patins remontent à 1833, et sont dus à Mason-Patrick. Il en fut employé à Boston à cette époque. Charles Vignoles les introduisit en Angleterre en 1836, et leur légua son nom.

Le premier éclissage fut employé au chemin du Mississipi (Natchez-Canton), par l'ingénieur Hollandais Van Rensselaer. Ces éclisses étaient simples. L'éclisse double est appliquée sur le Taff-Vale en 1852.

L'éclissage en porte à faux, imposé d'abord par son application aux rails à coussinets, est maintenant le mode généralement adopté en Allemagne pour les rails Vignoles, qu'on fait en barres de 7 à 8 mètres.

La seconde partie de l'ouvrage se divise en quatre parties :

1° Stabilité des rails;
2° Stabilité de leurs assemblages;
3° Stabilité de la voie entière dans le ballast;
4° Stabilité des rails sur les traverses.

Des nouvelles expériences relatées dans la première partie il résulte que l'épaisseur de l'âme est toujours plus que suffisante, et qu'on peut la diminuer jusqu'à la limite qu'accepteront les maîtres de forges.

Les expériences faites sur les éclissages ne laissent aucun doute sur la préférence à donner à l'éclisse conique (adoptée en France par les chemins d'Orléans et de Lyon); c'est le résultat auquel conclut la deuxième partie.

Dans la troisième partie, l'auteur examine successivement :

Quelle est la résistance d'une traverse ballastée contre un déplacement latéral?

Quelle résistance oppose la voie entière contre le déplacement latéral d'un de ses points, et qu'elle est l'influence due à la nature du ballast?

Quelle est l'influence du ballast qui appuie le bout des traverses?

Quelle est l'influence de la charge mobile sur la résistance latérale des voies?

Quelle est le mérite de certaines dispositions spéciales employées pour retenir les traverses, comme l'addition de piquets, pierres, etc.

Toutes les expériences propres à répondre à ces diverses questions ont été faites au moyen de la presse hydraulique, mais, malheureusement pour le lecteur français, sur la voie saxonne, formée de rails faibles et de traverses de l'essence la plus tendre, le pin sylvestre.

On a ainsi trouvé que :

Une pression de 1,500 à 2,500 kilog. suffit pour disjoindre les traverses et le ballast. Cette pression est moindre que celle exercée par une masse de trente tonnes, passant à la vitesse de 45 kil. dans une courbe de 300 mètres de rayon.

La nature du ballast est sans influence.

La résistance au déplacement augmente jusqu'à une amplitude de 12 à 18 millimètres, et reste ensuite constante jusqu'à 50 à 75 millimètres.

La résistance obtenue par le ballast appliqué contre le bout des traverses est très-minime.

La résistance latérale des voies est proportionnelle à la charge qu'elles supportent. Elle est décuplée pour une voie chargée de 28 tonnes, par rapport à la même voie libre. Enfin, les piquets et les pierres placés au bout des traverses ont un effet presque nul sur leur résistance au déplacement. La tendance aux déplacements observés dans certaines courbes paraît devoir être mise sur le compte de l'emploi des rails sans courbure préalable et permanente.

Le quatrième chapitre rappelle d'abord que les rails sont retenus sur les traverses par trois forces, dues, savoir :

Aux crampons ;
Au frottement du patin sur la traverse ;
Au frottement du bandage sur la tête du rail.

Les questions que l'auteur s'est posées, sont les suivantes :

Quelle est la compression subie par le bois sous la charge ?
Quelle est la résistance du rail fixé contre un déplacement latéral ?
Quelle force est nécessaire pour arracher les crampons ?
Quelle force est nécessaire pour surmonter la somme des résistances des crampons et du frottement des bandages sur la tête du rail ?

Des nombreuses expériences faites par M. de Weber il résulte :

Que la compressibilité est presque double, tant pour les traverses en pin que pour celles en chêne, aux endroits ayant déjà servi d'appui aux rails. Une charge de 6,500 kil., qui fait subir une dépression de 5 millimètres aux endroits intacts, produit 10 millimètres aux endroits ayant servi d'appui pendant cinq ans ; ce qui correspond à une dépression de 1 millimètre pour 5k.6 par centimètre carré aux endroits intacts des traverses, et pour 4 kil. par centimètre carré pour les anciens appuis.

Ces dépressions sont considérables. En service courant elles sont moindres, grâce à la répartition de la charge sur plusieurs points, que produit la rigidité du rail. La multiplicité des traverses n'est pas le meilleur moyen pour s'opposer à cette dépression.

Sur la voie en service, l'observation a prouvé que la compression du ballast était très-minime, et celle des traverses de 1 millimètre pour 1500 kil. de charge et 220 centimètres carrés de surface d'appui.

La résistance des crampons est assez faible, et décroît une fois le mouvement commencé.

L'effet d'une cause répétée est plus considérable que celui qui serait dû à une action unique, quoique plus forte.

M. de Weber rapporte les nombreuses expériences faites antérieurement sur l'arrachement des crampons, surtout en Hanovre, et en a entrepris de nouvelles sur l'influence des selles, des joints, du nombre de crampons, etc. Le crampon tient mieux, du moins momentanément, dans un ancien trou rebouché avec une cheville.

Des élargissements de 6 à 10 millimètres dans la voie, sont produits par des forces assez minimes ; un effort horizontal de quatre tonnes donne lieu à des déformations dangereuses, après lesquelles un effort moindre suffit pour achever la destruction.

Le nombre des traverses ne fait pas augmenter proportionnellement la résistance du rail à un mouvement de rotation ; les crampons cèdent successivement.

Un des faits les plus curieux, c'est que des élargissements momentanés de 25 mill. disparaissent, ou deviennent imperceptibles grâce à l'élasticité, étant produits plutôt par la rotation que par un déplacement latéral du rail.

Les joints opposés, employés en France, offrent une résistance moindre que les joints croisés, assez répandus en Allemagne, dans le rapport de 7 à 10.

Les selles de joint augmentent la résistance environ du double, mais la disjonction se produit plus vite.

L'observation capitale qu'on aurait pu deviner, mais sur laquelle on n'a pas encore suffisamment insisté, concerne l'influence de la charge sur la résistance latérale.

Voici à cet égard quelques chiffres :

PRESSIONS HORIZONTALES tendant à l'écartement des rails.	ÉLARGISSEMENTS PRODUITS :	
	Voie sans charge.	Voie chargée d'une locomotive tender de 41 tonnes.
500k	4 m/m	Imperceptible.
1000	9	Id.
2000	22	3 m/m
2500	31	»
2750	44	»
3000	»	4
4000	»	6
5000	»	16
6000	»	31

D'autres essais sont relatés, faits avec des crampons relâchés, avec des rails graissés, etc., pour mieux faire ressortir encore l'influence du frottement du bandage sur la tête du rail.

Comme la partie principale de la résistance de la voie est fournie par le bandage, il est clair que la résistance décroît quand le frottement du bandage diminue; aussi a-t-on remarqué que les déraillements étaient plus fréquents par le verglas. Il quand, par suite d'un mouvement de galop d'un véhicule à six roues, l'une des roues cesse de porter tandis qu'elle continue à exercer une pression latérale sur le rail, la résistance de la voie est également plus que compromise.

M. de Weber, dans une série spéciale d'observations faites sur les ressorts des machines, a constaté que pour des locomotives à six roues la charge s'élevait, pour les roues d'avant, jusqu'à 8,000 kil., au lieu de 3,500 kil. (charge normale); pour les roues d'arrière, à 10,000 kil. au lieu de 5,750; et qu'elles s'abaissait, pour les roues d'arrière jusqu'à 1500 kil., et pour les roues d'avant jusqu'à zéro.

Voilà donc la cause des déraillements mystérieux mise à nu, à n'en plus douter.

Les conclusions auxquelles l'auteur arrive, sont : 1° qu'il faut impitoyablement réformer les bandages de moins de 125 millimètres qui circulent encore; 2° que les véhicules à quatre roues offrent plus de sécurité que ceux à six roues; 3° que la voie de fer *de l'avenir* sera indubitablement la voie Hartwich, formée, comme on le sait, de rails sans traverses, mais de dimensions qui en font de véritables poutres répartissant la charge.

M. Nordling regrette de n'avoir pu donner à la Société un véritable compte rendu de ce livre curieux, mais il n'a pas voulu tarder plus longtemps d'y appeler la sérieuse attention de tous ceux qui s'occupent, à un titre quelconque, de la sécurité des trains, et il croit qu'il mériterait d'être traduit en français.

En terminant, M. Nordling demande qui, en France, pourrait fournir un livre pareil à celui de M. Weber? Les attributions de ce dernier ne paraissent s'étendre qu'à un réseau de 200 à 300 kilomètres, mais embrasser à la fois l'exploitation, le

voie et le matériel roulant. En France, ces trois services sont par trop séparés, et la séparation se retrouve jusque dans le contrôle de l'État, divisé entre les deux corps des mines et des ponts et chaussées.

L'immensité des réseaux français et l'amour invétéré de la centralisation font d'ailleurs peser sur le personnel supérieur un fardeau journalier déjà trop considérable, et notre personnel inférieur n'a pas et ne peut guère avoir l'instruction qu'on rencontre en Allemagne, où la noblesse a bien conservé quelques priviléges dans l'armée, mais où les futurs maréchaux de chemins de fer ne dédaignent pas de débuter comme caporaux.

Séance du 17 Décembre 1869.

Présidence de M. ALCAN.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est adopté.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 18 décembre 1868, de..... 947
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 80
1027

A déduire par suite de décès..... 16
— de démissions..... 10 } 34
— de radiations..... 8

Nombre total des Sociétaires au 17 décembre 1869..... 993

Les recettes effectuées pendant l'année 1869 se sont élevées à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (cotisations, amendes, vente de mémoires, intérêts).....	24,411 70	94,402 55
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable.....	42,350 »	
3° Vente d'obligations au même fonds.....	27,640 85	
Il reste à recouvrer sur les cotisations de 1868 et 1869, sur les exonérations et les amendes.....		9,443 »
Total à l'avoir de la Société.....		103,845 55

Au 18 décembre 1868, le solde en caisse était de.....	4,397 26	
Les recettes effectuées pendant l'année 1869 se sont élevées à.....	94,402 55	98,799 81

Les sorties de caisse se sont élevées à :

1° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.....	20,960 65	
2° Pour achat d'un terrain, à valoir, et intérêts.....	29,559 36	67,242 54
3° Achat de 50 obligations au porteur, ayant coûté...	16,715 10	
Excédant de recettes restant en caisse à ce jour.....		31,557 27

dont.....	7,413 31	pour le service courant,	fr.
et.....	24,143 96	pour le fonds social.	
Somme égale.....	31,557 27	.....	31,557 27

La Société possède en outre : en portefeuille, sur son fonds social inaliénable :

1° 269 *obligations nominatives de chemins de fer, ayant coûté*.	79,269 [illegible]
2° 50 *obligations au porteur, ayant coûté*.....	16,716 [illegible]
3° Un terrain de 198m.35 sur lequel elle a déjà payé.....	29,559 [illegible]
Total.....	125,545 [illegible]

M. LE PRÉSIDENT met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, et propose de voter des remercîments à M. Loustau, pour son dévouement aux intérêts de la Société.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1870.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président :

M. VUILLEMIN (Louis).

Vice-Présidents :	*Secrétaires :*
MM. Nordling.	MM. Morandière (Jules).
Yvon Villarceau.	Tresca (Alfred).
Mayer (Ernest).	Regnard (Paul).
Laurent (Charles).	Leygue.

Trésorier : Loustau (G.).

COMITÉ.

MM. Alcan (Michel).	MM. Guébhard (Alfred).
Petiet (Jules).	Tresca (Henri).
Farcot (Joseph).	Callon (Charles).
Chobrzynski.	Muller (Émile).
Love (Georges).	Goschler.
Brüll.	Desgrange.
Salvetat.	Thomas (Léonce).
Jordan (Samson).	Forquenot.
Tronquoy (Camille).	Molinos (Léon).
Benoît-Duportail.	Péligot (Henri).

MÉMOIRE

SUR LES

HUILES DE PÉTROLE

PAR M. ALBERT GRAND.

PREMIÈRE PARTIE.

COMPOSITION, PROPRIÉTÉS, ORIGINE DES HUILES BRUTES

CHAPITRE PREMIER.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES.

Considérations générales. — On sait que la distillation en vase clos des substances connues sous le nom général de *schistes bitumineux* et *bog-head*, donne naissance à deux séries de produits — gazeux et liquides. Ces derniers, soumis à une nouvelle distillation, donnent des hydrocarbures liquides doués d'une odeur pénétrante, plus ou moins volatils, d'une densité variant en moyenne de 0,800 à 0,900, et appliqués depuis un certain nombre d'années à l'éclairage public et privé sous le nom d'*huiles de schiste*. Or il existe dans la nature, et sous des aspects suffisamment variés pour qu'il soit dès à présent difficile de les définir d'une manière exacte, une série de substances rappelant en quelque sorte les produits bruts de la première distillation des schistes bitumineux, et qui, comme eux soumises à une température suffisamment élevée, se transforment par distillation en huiles plus légères et plus ou moins incolores, douées de propriétés éclairantes analogues à celles des huiles dites de *schiste*. Ces substances sont les *huiles brutes de pétrole* et les produits auxquels elles donnent naissance par distillation ont reçu le nom d'*huiles de pétrole raffinées*. Il ne faudrait pas croire, cependant, qu'entre les huiles de schiste et les huiles de pétrole que l'on comprend souvent sous la dénomination commune d'*huiles minérales*, par opposition aux huiles d'origine végétale auxquelles elles se sont substituées dans l'éclairage, il n'existe d'autre différence que l'état physique des substances

dont elles proviennent; dans la plupart des cas, au contraire, ces deux séries de produits, d'origines différentes, se distinguent facilement les unes des autres par leurs caractères et leurs propriétés spéciales.

Composition des huiles de pétrole brutes. — L'analyse chimique, appliquée aux huiles de pétrole naturelles, a démontré que ces substances n'étaient formées que de deux éléments principaux, le carbone et l'hydrogène, auxquels vient s'ajouter une petite quantité d'oxygène en proportion assez variable. Dans un intéressant mémoire, lu à l'Académie des sciences dans la séance du 9 mars 1868, M. Henri Sainte-Claire-Deville a indiqué la composition d'un grand nombre d'échantillons d'huiles de pétrole soumis par lui à l'analyse; nous avons cru devoir réunir dans le tableau suivant celles de ces analyses qui se rapportent aux espèces plus particulièrement employées dans l'industrie[1].

COMPOSITION.	HUILE légère de Pensylvanie.	PÉTROLE du duché de Parme (Commune de Sale).	HUILE de la Gallicie occidentale.	PÉTROLE de Hanovre (OEdesse).	HUILE d'Alsace (Bechelbronn).	HUILE lourde de Pensylvanie (Alleghany).
Densité à zéro.	0.816	0.786	0.885	0.892	0.892	0.886
Carbone.....	82.0	84.8	85.3	80.4	85.7	84.9
Hydrogène....	14.8	13.4	12.6	12.7	12.0	13.7
Oxygène.....	3.2	1.8	2.1	6.9	2.3	1.4
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

En soumettant le pétrole brut à une distillation continue et en fractionnant les produits obtenus, d'après la température de leur point d'ébullition, MM. Pelouze et Cahours sont parvenus à isoler successivement plusieurs carbures d'hydrogène appartenant à la série $C^n H^{n+2}$ dont le gaz des marais $C^2 H^4$ représente le premier terme. Nous nous contenterons d'insérer ici le tableau qui renferme les noms et les caractères principaux de ces différents produits, laissant à ceux de nos lecteurs, qui seraient désireux d'approfondir la question, le soin de consulter, dans les *Annales de physique et de chimie*[2], le compte rendu complet des intéressants travaux de MM. Pelouze et Cahours.

1. D'après ces résultats la composition moyenne de l'huile de pétrole brute pourrait se résumer de la manière suivante :

Carbone.....	82 à 85 p. 100.
Hydrogène.....	13 à 14 —
Oxygène.....	1 $\frac{1}{2}$ à 3 —

2. *Recherches sur les pétroles d'Amérique*, par MM. Pelouze et Cahours, *Annales de physique et de chimie*. — 4e série. — Tome Ier.

TABLEAU RÉSUMANT QUELQUES CARACTÈRES PHYSIQUES DES HYDROCARBURES ÉTUDIÉS PAR MM. PELOUZE ET CAHOURS.

NOMS des SUBSTANCES.	FORMULES.	DENSITÉ sous forme LIQUIDE.	POINTS D'ÉBULLITION.	DENSITÉS		ÉQUIVALENTS en VOLUMES.
				Sous forme gazeuse trouvées par expérience.	Théoriques.	
Hydrure de Butyle	$C^8 H^{10}$	0.600 à + 0°	vers 0°	»	»	4 volumes.
— d'Amyle	$C^{10} H^{12}$	0.628 à + 18	30	2.557	2.535	—
— de Caproyle	$C^{12} H^{14}$	0.669 à + 18	68	3.055	3.029	—
— d'Œnanthyle	$C^{14} H^{16}$	0.699 à + 16	92 à 94°	3.600	3.521	—
— de Caprylé	$C^{16} H^{18}$	0.726 à + 15	116 à 118	4.010	4.015	—
— de Pélargyle	$C^{18} H^{20}$	0.741 à + 15	136 à 138	4.541	4.508	—
— de Rutyle	$C^{20} H^{22}$	0.757 à + 16	158 à 162	5.040	5.001	—
— d'Undécyle	$C^{22} H^{24}$	0.766 à + 16	180 à 182	5.458	5.494	—
— de Laurylé	$C^{24} H^{26}$	0.778 à + 20	198 à 200	5.972	5.987	—
— de Cosinyle	$C^{26} H^{28}$	0.796 à + 17	218 à 220	6.369	6.481	—
— de Myristyle	$C^{28} H^{30}$	0.809 à + 20	236 à 230	7.019	6.975	—
— de Bényle	$C^{30} H^{32}$	0.825 à + 19	258 à 262	7.526	7.467	—
— de Palmityle	$C^{32} H^{34}$	» »	vers 280°	8.078	7.961	—

On voit donc, par les résultats qui précèdent, que les huiles de pétrole, en général, quel que soit le lieu de leur production, peuvent être considérées, comme formées de la réunion d'un nombre plus ou moins grand de carbures d'hydrogène, appartenant à la même série que le gaz des marais. Quant à la présence de carbures faisant partie de séries étrangères et notamment du benzole et de ses congénères, elle n'a pas été constatée par MM. Pelouze et Cahours, et il est plus que probable que si quelques chimistes étrangers ont rencontré, comme ils l'ont affirmé, cette substance dans certaines variétés d'huiles distillées, sa présence devait être attribuée, dans ces cas, à une véritable décomposition survenue pendant l'opération.

Propriétés physiques des huiles de pétrole. — Au point de vue de leurs propriétés physiques, les huiles de pétrole offrent quelques différences, suivant leur provenance, tout en présentant cependant un ensemble de caractères généraux assez constants.

Le plus grand nombre des espèces d'huiles de pétrole se rencontrent à l'état liquide — huiles de Pensylvanie, de Galicie, de Hanovre, etc.; mais leur fluidité varie, et quelques-unes présentent même à la température ordinaire la consistance du beurre — huile de Rangoon. — Leur couleur, généralement foncée, varie du vert—huile de Pensylvanie, au brun—huiles du Canada, de Galicie, de Hanovre, de Rangoon. —Il existe cependant certaines espèces d'huiles—en Italie, aux environs de Parme,—dont la coloration est à peine sensible, et dont la transparence est telle, qu'elles peuvent être employées directement à l'éclairage sans avoir besoin d'être préalablement soumises à aucune espèce de traitement industriel.

L'odeur *sui generis* que possèdent tous les produits de cette nature est un des caractères les plus généraux de cette catégorie de substances; toutefois la présence du soufre, en quantités plus ou moins considérables, modifie également cette odeur, et permet souvent de distinguer entre eux des pétroles de provenance différente. Les pétroles du Canada, qui sont particulièrement sulfurés, répandent une odeur fétide que les opérations auxquelles on les soumet ne peuvent jamais leur enlever d'une manière complète, et qui a rendu leur emploi très-peu avantageux jusqu'ici. Dans les huiles de Pensylvanie la proportion de produits sulfurés est de beaucoup plus faible, et leur odeur, par suite, beaucoup moins désagréable; celle des huiles de Rangoon, de Hanovre, de Valachie se rapproche également de la précédente. Dans la Galicie orientale, les huiles fortement sulfureuses repandent une forte odeur et sont difficiles à épurer, tandis que la Galicie occidentale fournit des huiles dont les caractères rappellent beaucoup ceux des huiles de Pensylvanie et de Hanovre.

La densité des huiles de pétrole varie dans des limites assez étendues. Les huiles de Pensylvanie ont une densité comprise généralement entre 0,790 et 0,820; mais il est certaines variétés dont la densité atteint 0,880.

Cette limite se trouve encore de beaucoup dépassée par les huiles de Java, qui arrivent à 0,970 et même 0,980.

Il est impossible d'indiquer d'une manière absolue le point d'ébullition des huiles de pétrole, puisqu'il ne s'agit pas ici d'une substance homogène, mais d'une réunion de composés ayant chacun leur point d'ébullition parfaitement distinct. Ainsi, tandis que certaines espèces de pétroles émettent des vapeurs à la température de 0°, il en est qui ne distillent que vers 80 ou 90° et même au dela de 100°. Les huiles de pétrole traitées en France, et qui, pour la plupart, proviennent de Pensylvanie, n'entrent guère en ébullition qu'à partir de 40 à 50°, et ce n'est qu'à l'aide de grandes précautions que l'on peut parvenir à recueillir dans les appareils industriels les premiers produits de la distillation dont le point d'ébullition correspond à 35 ou 40°.

L'inflammabilité des huiles de pétrole dépend naturellement de la température à laquelle elles commencent à émettre des vapeurs; il s'ensuit que pour la plupart des huiles brutes, qui à la température ordinaire possèdent déjà une tension de vapeur souvent considérable, l'approche d'un corps enflammé à une petite distance de la surface du liquide suffit pour communiquer le feu à toute la masse, soit instantanément, soit au bout d'un moment.

Nous citerons à ce sujet quelques-uns des résultats indiqués par M. Henri Sainte-Claire-Deville, dans son *Étude sur les propriétés physiques des hydrocarbures liquides*[1]. Les chiffres consignés dans le tableau ci-contre donneront une idée de la proportion de produits d'un point d'ébullition peu élevé, contenus dans diverses espèces de pétroles.

1. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, séances du 9 mars 1868 et du 1er mars 1869.

PERTES PAR LA CHALEUR, A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES, DE DIVERS ÉCHANTILLONS D'HUILES DE PÉTROLE.

TEMPÉRATURES.	HUILE légère. Virginie occidentale.	HUILE légère. Pensylvanie.	HUILE américaine employée aux environs de Paris.	HUILE de Parme. (Salo.)	PÉTROLE de Galicie. (Est.)	PÉTROLE de Galicie. (Ouest.)	HUILE de Circassie.	HUILE de Valachie. (Ploësti.)	HUILE de Parme (Neviano de Rossi.)	HUILE de Java.
Densité à zéro.	0.8412	0.816	0.820	0.786	0.870	0.885	0.887	0.862	0.809	0.827
Température.										
Degrés centigrades.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
100	1.3	4.3	2.8	1.1	2.1	1.0	3.3	—	1.8	0.8
120	4.3	10.7	5.3	9.3	4.6	4.0	8.7	5.4	16.2	3.0
140	11.0	16.0	12.0	33.3	8.7	9.8	15.7	11.8	39.9	9.3
160	17.7	23.7	19.8	39.5	13.7	14.3	19.3	17.8	54.9	16.3
180	25.2	28.7	25.4	60.5	14.3	23.3	24.0	23.8	65.6	22.0
200	28.5	31.0	30.3	69.5	21.7	27.0	27.7	29.2	75.4	27.8
220	—	—	—	—	25.3	30.7	32.7	34.6	79.8	—
250	—	—	—	—	32.2	36.7	34.7	41.0	88.6	—

Deux propriétés physiques des huiles de pétrole méritent encore d'appeler plus spécialement l'attention; ce sont : — le coefficient de dilatation et la puissance calorifique.

Nous extrayons du mémoire de M. Sainte-Claire Deville les coefficients de dilatation des variétés d'huiles les plus généralement employées dans l'industrie.

	Densité à zéro.	Coefficient de dilatation[1]
Huile légère de Pensylvanie. —	0.846	0.00084
Huile américaine du commerce.	0.820	0.000868
Crude petroleum Oil (Canada West)	0.828	0.000883
— — —	0.844	0.001000
Huile légère de la Virginie occidentale.	0.8412	0.000839
Huile lourde de l'Ohio.	0.887	0.000748
Pétrole de Galicie (Est).	0.870	0.000813
— — (Ouest).	0.885	0.000775
Pétrole de Hanovre (Edesse).	0.892	0.000772
— — (Witze).	0.955	0.000641
— — (Oberg).	0.944	0.000662
Pétrole de Valachie (Ploësti).	0.862	0.000808
— — —	0.901	0.000748
Pétrole de Parme (Neviano de Rossi)	0.809	0.000963
— — (Salo).	0.786	0.00106
Pétrole de Bechelbronn (Alsace).	0.868	0.000697
— — —	0.892	0.000793
Pétrole de Schwabwiller —	0.864	0.000858
— — —[2]	0.829	0.000843
Pétrole de Birmanie (Rangoon).	0.875	0.000774

D'après le même auteur, la chaleur spécifique des huiles brutes de pétrole de Pensylvanie (déterminée sur un échantillon provenant d'une usine des environs de Paris) serait de 0.48; celle du pétrole de Parme (Salo) de 0.49.

Décomposition par la chaleur. — Nature des produits obtenus. — Si, au lieu d'isoler successivement chacun des produits spéciaux, ainsi que l'ont fait MM. Pelouze et Cahours, on classe les divers composés obtenus par voie de distillation, de manière à former des groupes dont chacun soit susceptible d'avoir une application industrielle distincte, on arrive alors à diviser ces produits en cinq catégories, qui sont les suivantes :

1. Les coefficients de dilatation ont été déterminés en prenant pour base les densités des liquides à zéro et à des températures variant de 18 à 51° c.

2. Extrait des sables bitumeux.

1° Une huile très-volatile, incolore, douée d'une odeur très-pénétrante, et dont la densité moyenne est comprise entre 0,700 et 0,720;

2° Une huile un peu plus fixe, légèrement colorée en jaune, et de 0,800 de densité moyenne environ;

3° Une huile épaisse, de couleur jaune, accusant une densité de 0,840 à 0,830;

4° Une matière solide à la température de 20° centigrade, et presque uniquement composée de paraffine;

5° Enfin on obtient pour résidu, dans la cornue, une masse charbonneuse à texture spongieuse, qui n'est autre que du coke excessivement boursouflé par le dégagement des derniers produits gazeux de la distillation.

Rendement des diverses variétés de pétrole. – La proportion de ces divers groupes de produits varie naturellement dans des limites assez étendues, suivant la provenance de la matière brute; le premier s'y trouve quelquefois à peine représenté, ou disparaît même complétement dans certains cas.

Dans une note publiée sous le nom de *Réponses à des questions posées à MM. Barral, Chevalier et Reveil, par MM. les fabricants d'huiles minérales, relatives à leur industrie*[1], nous trouvons les résultats suivants, indiqués par les auteurs comme résumant les proportions moyennes obtenues par la distillation des pétroles de Pensylvanie :

1° Gaz non condensable et perte.	5
2° Essences très-volatiles, d'une densité qui varie de 0,600 à 0,720, et d'un point d'ébullition de + 15° à + 120°	16
3° Essences de 0,720 à 0,780 de densité, et d'un point d'ébullition de 120 à 200°	50
4° Huile d'une densité de 0,780 à 0,820, et bouillant entre 190 et 200°	20
5° Huile lourde paraffinée, d'une densité de 0,820 à 0,870, et bouillant entre 300 à 450°.	13
6° Résidu charbonneux ou coke	2
	106

D'autre part, voici les résultats que nous avons obtenus sur des huiles de pétrole brutes de Pensylvanie, d'une densité moyenne de 0,815 :

1. Paris, 1864.

Pour 100 parties en poids de pétrole brut :

1° Huile légère (essence), d'une densité moyenne de 710 à 0,720.	18.75
2° Huile à brûler, d'une densité moyenne de 0,800.	67.15
3° Huile lourde, d'une densité moyenne de 0,850. . .	2.83
4° Huile paraffinée.	6.63
5° Résidu solide. — Coke	1.60
6° Perte en produits gazeux.	2.74
Total	100.00

Ces résultats provenant d'un traitement régulier, d'une durée de plusieurs mois, peuvent être considérés comme donnant une moyenne assez exacte du rendement d'une huile brute de Pensylvanie, de qualité ordinaire, à la simple distillation. Nous devons ajouter, cependant, qu'au point de vue industriel le procédé de distillation exerce une certaine influence sur ce rendement, et que la proportion de l'huile lampante peut s'élever, dans certains cas, à 70 et 75 pour 100, quelquefois même plus haut.

D'après M. Édouard Schmidt, ingénieur allemand[1], la distillation des pétroles bruts de Galicie donne les produits suivants :

1° Éther de pétrole (keroselène), de 0,640 à 0,650 de densité, bouillant à 42° centigrades ;

2° Esprit de pétrole, de 0,700 à 0,745 de densité, bouillant à 120° centigrades ;

3° Huiles d'éclairage dont la densité varie de 0,790 à 0,855, et dont le point d'ébullition varie de 150 à 300° centigrades et au-dessus ;

4° Huiles paraffinées, d'une densité de 0,830 à 0,925, bouillant entre 300 et 385°.

— Paraffine se concrétant à une température variable de 0 à 6°.

5° Résidu goudronneux.

La proportion d'huiles légères existant dans les pétroles de Galicie est de beaucoup inférieure à celle des huiles de Pensylvanie, généralement employées en France. L'huile de Polanka (Galicie moyenne) ne renferme, d'après M. Schmidt, que 8,5 pour 100 de ces produits, contre 60 p. 100 d'huile à brûler ; il en est de même des huiles de Hongrie, de Hanovre, de plusieurs variétés d'huiles du Canada et même des États-Unis. Par contre la proportion d'huiles lourdes contenues dans ces pétroles de diverses provenances est généralement supérieure à celle des huiles ordinaires de Pensylvanie.

Dans les pétroles de Rangoon on rencontre souvent même à peine 2 à

1. *Die Erdöl-Reichthümer Galiziens-Eine technolojisch-volkswirthschaftliche Studie* von Eduard Schmidt, civil-ingénieur. — Vienne, 1865.

3 pour 100 d'huiles légères ; la quantité d'huiles lourdes s'élève, au contraire, à 40 pour 100. Aussi ne peut-on guère tirer de ces huiles que 40 pour 100 environ de véritable huile lampante.

CHAPITRE II.

ORIGINE ET GISEMENT.

I.

THÉORIES DIVERSES SUR L'ORIGINE DES HUILES DE PÉTROLE.

Considérations générales. — Depuis que la découverte des sources de pétrole en Pensylvanie a appelé sur ce produit l'attention du monde scientifique et industriel, plusieurs théories ont été émises pour expliquer l'origine géologique de ces gisements, sans qu'aucune d'elles ait été jusqu'ici adoptée d'une manière générale. Ce désaccord semble devoir provenir du manque d'ensemble qui a caractérisé, pendant les premières années, les recherches des hommes de science. Limitant leurs observations à un champ d'exploitation relativement restreint, les savants de l'Amérique du Nord ne devaient être conduits par l'étude des gîtes pétrolifères de la Pensylvanie et du Canada qu'à constater des faits locaux dont ils ne pouvaient contrôler la relation avec ceux qui, dans le même ordre d'idées, devaient exister en dehors de leur continent. Ce fut dans l'étude des conditions locales qu'ils cherchèrent l'explication de la formation première des huiles minérales naturelles, et ils arrivèrent ainsi à des solutions ingénieuses, il est vrai, mais auxquelles il manquait, pour être universellement adoptées, de se trouver confirmées par les faits postérieurement observés dans d'autres contrées.

L'étude des gîtes pétrolifères du continent européen vint apporter bientôt de nouvelles lumières dans la question, et il devint possible, à partir de ce moment, d'établir des rapprochements entre les diverses conditions de gisement que présentaient, d'une part les sources européennes, de l'autre les gîtes américains. On s'aperçut alors que les théories admises en Amérique étaient insuffisantes pour expliquer la présence du pétrole dans beaucoup de cas, et l'ensemble des faits relevés dans les deux continents, relativement à la position des puits de pétrole, amena la formation d'une hypothèse nouvelle à laquelle se rallient aujourd'hui plusieurs de nos savants. Nous croyons, pour notre part, qu'une étude plus approfondie des circonstances géologiques, qui caractérisent

l'existence des divers gisements de pétrole, viendra confirmer complétement la valeur de cette dernière théorie ; mais en présence de l'état actuel des connaissances nous ne devons pas exclure d'une manière générale les opinions étrangères, et nous donnerons un exposé de ces diverses théories en indiquant les faits principaux qui leur ont servi de base et sur lesquels on peut encore s'appuyer dans certains cas pour soutenir leur valeur.

L'huile de pétrole considérée comme dérivant de la houille. — La théorie la plus ancienne attribue la formation des huiles de pétrole à la distillation lente des combustibles fossiles. Les rapports assez intimes qui existent, en effet, entre les huiles minérales naturelles et les produits de la distillation des schistes bitumineux, voire même des houilles, conduisent naturellement à l'hypothèse d'une origine semblable pour les deux séries de produits ; mais en examinant plus attentivement la question, on s'aperçoit que, tandis que les produits de la distillation des combustibles fossiles contiennent toujours en quantité plus ou moins importante la benzine et ses congénères, on n'a constaté en aucun cas d'une manière certaine la présence de l'un quelconque de ces composés dans les huiles de pétrole ; leur absence paraît même, au contraire, caractériser d'une façon toute spéciale cette dernière série de produits. Il semblerait cependant que s'ils provenaient réellement de la décomposition des houilles par la chaleur, ils dussent nous offrir une composition à peu près analogue à celle que nous constatons dans les produits de la distillation industrielle de ces combustibles. M. Norman Tate fait toutefois observer, à cet égard [1], que la proportion relative de benzine obtenue par la distillation des houilles, diminuant à mesure que l'on opère à une plus basse température, il peut se faire que les couches de combustibles auxquelles on les rapporte se soient trouvées placées dans des conditions telles, que la production de cette substance fût devenue impossible. Cette supposition donne un certain intérêt à l'hypothèse que nous venons d'exposer ; mais la conséquence directe de son adoption serait de toujours placer les gisements de pétrole dans le voisinage plus ou moins rapproché et au-dessus des couches de houille qui leur auraient donné naissance : or, c'est précisément le contraire que l'on constate dans la plupart des cas, ainsi que nous le verrons plus loin.

Origine organique. — L'hypothèse qui attribue la formation des huiles de pétrole à la décomposition des fibres végétales a également de nombreux adhérents et ne manque pas de présenter une valeur réelle. On sait, en effet, que, sous l'influence de circonstances particulières, les matières végétales en putréfaction donnent naissance à des hydrogènes

1. *Du pétrole et de ses dérivés*, par M. A. Norman Tate.

carbonés et notamment au gaz des marais C^2 H^4, premier terme de la série à laquelle appartiennent les produits fournis par la distillation des huiles de pétrole.

Dans ce cas, les sources de pétrole, au lieu de provenir des couches de houille (qui souvent d'ailleurs ne se rencontrent pas dans leur voisinage), auraient une origine pour ainsi dire contemporaine. La présence de la houille n'étant pas nécessairement liée à celle des sources minérales, rien ne s'opposerait à ce que, dans une région déterminée, la décomposition des matières végétales n'ait donné naissance qu'à des dépôts de produits bitumineux de cette espèce, sans avoir produit aucun amas de combustible minéral ; toutefois, si cette hypothèse ne saurait être récusée d'une manière absolue, il y aurait un égal inconvénient à l'accepter sans restriction, avant de l'avoir vue confirmée par des preuves indiscutables. Il en est de même de l'opinion qui attribue aux huiles de pétrole une origine animale, opinion soutenue par M. Gauldrée-Boileau, consul de France à New-York. La composition des tissus organiques des animaux marins auxquels serait due la formation des huiles de pétrole se rapproche d'ailleurs beaucoup de celle des végétaux et permet en conséquence d'assimiler cette dernière hypothèse à la précédente.

Les mêmes théories ont été également reproduites pour expliquer la formation des gisements de pétrole en Europe. M. Franz Fötterle[1] suppose que l'huile de la Galicie occidentale provient des schistes à ménilites de la période eocène, au travers desquels elle arrive elle-même au jour, et attribue en partie la cause de cette distillation à l'influence de la température extérieure et de la décomposition des pyrites. De son côté, M. Hochstetter combat cette théorie et pense que l'huile de pétrole, loin de se former dans ces schistes mêmes qu'elle traverse, résulte de la distillation sèche de matières végétales ou animales en décomposition, appartenant à une formation qui n'a pas encore été reconnue et dont proviendraient également les fragments d'asphalte que l'on rencontre dans les grès du terrain éocène.— Ces fragments d'asphalte seraient alors les correspondants des morceaux de houille et de schistes carbonifères que M. Hohenegger a signalés dans les couches bréchiformes du terrain éocène de la Silésie, et il pourrait se faire, dit M. Hochstetter, que les gisements de Pétrole de la Galicie provinssent du prolongement sous la formation du grès des Carpathes, des couches carbonifères dont les affleurements se montrent aux environs de Cracovie[2].

Origine éruptive. — La dernière hypothèse consiste à assimiler la

1. Jahrbuch der K.-K. geolog. Reichsanstalt (1859, X, V. 183).

2. Ueber das Vorkommen von Erdöl (Petroleum) u. Erdwachs im Sandecer Kreise in West-Gallizien. — Von prof. Dr Ferd. V. Hochstetter, Vienne, 1865.

production des huiles de pétrole à celle des produits d'origine volcanique que les cratères des volcans en activité rejettent journellement sous nos yeux. Les phénomènes éruptifs actuels peuvent être considérés comme des diminutifs des phénomènes de même ordre qui, à des intervalles plus ou moins éloignés, ont bouleversé la surface du globe, pendant la longue période des temps géologiques, et les immenses nappes de pétrole, dont les récentes études entreprises sur les terrains pétrolifères ont encore révélé l'existence probable, peuvent être regardées sans inconvénient comme correspondant aux émanations hydro-carbonées et bitumineuses de nos volcans actuels.

L'étude des conditions d'existence des sources de pétrole et de leur position relative, au double point de vue de la nature des terrains qui les renferment et du voisinage des lignes de soulèvement, va nous offrir de nouveaux éléments pour la comparaison des trois théories que nous venons d'exposer et l'appréciation de leur valeur relative.

Constitution des amas de pétrole. — L'huile de pétrole se rencontre en masses plus ou moins considérables, soit entre les feuillets et dans les délits de roches schisteuses, soit dans les cavités des calcaires plus ou moins compactes; quelquefois encore les liquides hydro-carburés impreignent des grès ou des couches de sable dans les terrains modernes.

C'est en Amérique que la constitution géologique des sources de pétrole a été jusqu'ici étudiée avec le plus de soin. Les conditions générales dans lesquelles on les rencontre sur ce continent peuvent être représentées par une coupe idéale telle que celle de la figure 3, planche 14.

B représente une couche de calcaire dans laquelle une cause quelconque a déterminé la formation d'une faille *a*, *b*, *c*.

A est une couche argileuse imperméable.

Quelle que soit la cause à laquelle on attribue la production des hydro-carbures, on comprend que ceux-ci, une fois formés, ont dû s'échapper par toutes les fissures des terrains subjacents jusqu'au moment où arrivés à la surface ils ont pu se répandre librement dans l'atmosphère. Mais supposons que dans leur trajet ils aient rencontré une couche imperméable telle que A : emprisonnés alors dans les cavités de la roche B, une partie de ces hydro-carbures se sont condensés en vertu du refroidissement et de la pression exercée par la force d'expansion de toute la masse gazeuse dont la production continuait à s'effectuer dans les régions inférieures ; les gaz incondensables restaient accumulés à la partie supérieure et les carbures liquéfiés se sont superposés au-dessous par ordre de densité croissante. Ils reposent presque toujours sur une couche d'eau *c* provenant des infiltrations du terrain environnant ou de la con-

densation de la vapeur d'eau qui a sans doute accompagné le dégagement des hydro-carbures.

Ainsi pour qu'un terrain renferme des sources de pétrole liquide, il faut le concours de trois circonstances essentielles :

1° Qu'il y ait eu développement, dans la contrée, de la force organique ou éruptive qui a donné naissance à ces hydrocarbures ;

2° Que des phénomènes d'oscillation du sol aient produit dans les couches du terrain des crevasses en communication avec le point de départ des produits gazeux ;

3° Que ces cavités viennent aboutir à une couche imperméable, capable de retenir dans leur intérieur les émanations hydrocarburées en leur fermant toute issue à l'extérieur.

Cette constitution permet d'expliquer la manière différente dont se comporteront les puits de pétrole, suivant que la sonde aura atteint l'un ou l'autre des trois étages représentés par les gaz, l'huile minérale ou la couche d'eau inférieure. Rencontre-t-on, en effet, la crevasse dans la partie supérieure, les produits gazeux s'échapperont par l'issue qui leur est offerte, et l'emploi d'une pompe sera nécessaire pour extraire l'huile qui se trouve au dessous. Le trou de sondé vient-il au contraire déboucher dans la région occupée par les carbures liquides, ceux-ci jaillissent au dehors en vertu de la pression exercée par les gaz à leur surface, jusqu'à ce que le niveau des liquides soit descendu au-dessous de l'orifice inférieur du puits. Enfin, on obtiendrait tout d'abord simplement un jet d'eau, si dans le sondage on n'arrivait à rencontrer la crevasse qu'au-dessous du niveau inférieur de la couche d'huile. On comprend également par là comment il se fait qne des puits, donnant d'abord des sources jaillissantes, nécessitent au bout d'un certain temps l'emploi d'appareils d'épuisement, soit par suite de l'abaissement du niveau de la couche liquide, soit à cause de la diminution de pression résultant du percement, sur un autre point de la veine, d'un nouveau puits qui aura donné échappement aux gaz ; comment enfin, suivant la profondeur à laquelle on descendra les pompes d'épuisement, on obtiendra de l'huile ou de l'eau.

Position des sources de pétrole dans l'échelle géologique. — Géologiquement parlant, le pétrole ne saurait être rapporté à aucun horizon. Cette opinion émise par M. Daubrée dans son rapport sur les produits des Mines, à l'Exposition universelle de 1867, et qui se trouve confirmée par les faits portés aujourd'hui à notre connaissance, annule complétement l'une des considérations sur lesquelles s'appuyaient les partisans de la première hypothèse pour soutenir la vraisemblance de leur système, — la proximité des gisements de pétrole des couches de combustibles fossiles...

Tout d'abord nous remarquerons que presque toutes les sources de pétroles découvertes dans l'Amérique du Nord appartiennent aux étages silurien et dévonien, quelques-unes seulement aux premières assises du terrain carbonifère, et qu'enfin nulle part dans cette contrée on n'a rencontré de sources de pétrole au-dessus des conglomérats qui représentent la base du terrain houiller. Ainsi, tandis que la condensation des produits de la distillation de la houille aurait dû former des amas dans les assises des terrains supérieurs, les sources de pétrole occupent au contraire toujours ici une position inférieure par rapport à celle des couches de combustibles minéraux. Aussi est-ce avec plus de raison que M. Hochstetter, ainsi que nous le disions plus haut, attribuait cette même origine aux gisements de pétrole de la Galicie occidentale alimentés, suivant lui, par la distillation des couches de houille dont les affleurements sont exploités aux environs de Cracovie et qui plongent à une grande profondeur dans la direction des Carpathes. Ici en effet l'objection ne subsiste plus : la nappe pétrolifère occupe bien une région supérieure à celle des combustibles minéraux ; mais dans ce cas encore ne doit-on pas opposer à l'adoption de cette hypothèse les considérations tirées de la nature chimique des huiles de pétrole sur lesquelles nous avons précédemment attiré l'attention ?

Les pétroles de la Galicie, de même que ceux de la Valachie, appartiennent aux premières assises du terrain tertiaire inférieur, tandis qu'en France et en Italie ce sont les terrains tertiaires moyen et supérieur qui renferment les sources minérales. Nous entrerons plus loin dans quelques détails à ce sujet, lorsque nous examinerons en particulier les divers gisements pétrolifères du Nouveau Monde et du continent européen. Les indications qui précèdent nous paraissent suffisantes pour établir ce fait capital, que les sources de pétrole peuvent se rencontrer à tous les horizons géologiques ; nous remarquerons, toutefois, que rien ne prouve que la plupart des gisements que nous connaissons actuellement aient occupé toujours cette même position. Les influences calorifiques auxquelles les couches de l'écorce terrestre se sont trouvées accidentellement exposées à plusieurs reprises, et qui, dans certains cas, ont amené de si profondes modifications dans l'aspect et la nature même des roches solides, ont dû exercer également leur action sur les dépôts de carbures liquides qui se trouvaient dans le voisinage de ces dernières ; il en est résulté sans doute dans plusieurs cas une distillation ou une décomposition, dont les produits, transportés dans les étages supérieurs, sont venus former de nouveaux amas que nous rencontrons aujourd'hui. Les hydrocarbures auxquels on applique plus particulièrement le nom de *naphtes*, et qui se distinguent par leur pureté et leur limpidité, nous semblent devoir être le résultat d'une distillation de cette espèce. On comprend d'ailleurs que, d'une manière générale, la nature des terrains traversés, soit par les émanations gazeuses primitives, soit par les vapeurs des produits d'une dis-

tillation subséquente, a dû souvent influer sur la composition de ces produits[1]; cette action aura eu pour résultat, tantôt d'absorber une partie de leurs éléments constituants, tantôt d'opérer une décomposition partielle, tantôt enfin de les charger de substances étrangères: de là provient sans doute la variété d'aspect et de nature qui distingue les dépôts d'hydro-carbures liquides des diverses contrées du nouveau et de l'ancien continent.

C'est à un ensemble de phénomènes du même ordre qu'il convient probablement aussi d'attribuer la différence de composition des huiles minérales que l'on distingue sous la dénomination particulière d'*huiles de schiste*. Les schistes bitumineux, desquels on les extrait par distillation, ont été sans doute exposés, à une certaine époque, à l'influence directe d'émanations hydro-carburées de même nature que les précédentes et dont ils se sont peu à peu imprégnés; c'est alors que l'action réciproque de leurs éléments respectifs et probablement aussi l'intervention de phénomènes extérieurs, dont nous ne pouvons encore déterminer la nature, ont sans doute amené au moment de leur condensation des modifications dans la composition de ces hydro-carbures. La présence *de couches* de schistes bitumineux à proximité d'un grand nombre *de gites* de pétrole, et les relations d'alignement des dépôts bitumineux et des sources de pétrole semblent d'ailleurs confirmer en quelque sorte cette communauté d'origine.

Coordination des sources de pétrole par rapport aux axes de soulèvement. — Déjà, en 1863, M. de Chancourtois, professeur à l'École des mines, signalait à l'Académie des sciences le fait du parallélisme de l'alignement des sources de pétrole avec la direction des grands cercles du réseau pentagonal déterminés par M. Élie de Beaumont. En 1865, M. Foucou constata également la relation existant entre les gisements de pétrole de la Galicie et la direction de la chaîne des Carpathes dont ils occupent le versant oriental; la direction nord-est-sud-ouest de ces gisements les rattacherait d'après lui au cercle de comparaison du Thuringerwald [2].

L'étude des sources pétrolifères de l'Amérique du Nord a également conduit le même auteur à des observations du même genre. D'après lui, les gites du Canada-ouest de la Pensylvanie nord-ouest et de la Virginie occidentale, affectent une direction générale courant à peu près du nord-est au sud-ouest correspondant à la fracture qui donne passage au fleuve Saint-Laurent et au soulèvement de la chaîne des Alléghanys.

1. On sait, en effet, quelle a été l'importance de cette action des terrains encaissants et les émanations et dissolutions métallifères auxquelles on attribue le remplissage des filons métalliques.

2. Compte rendu de la Société des Ingénieurs civils. — Séances du 15 septembre, du 20 octobre et du 17 novembre 1865.

En relevant à la boussole un grand nombre de puits, dans ces trois régions, il a constaté notamment que les accumulations de pétrole se rencontrent de préférence le long des axes anticlinaux vers lesquels convergent les roches soulevées. Dans la Virginie occidentale, par exemple, l'étage inférieur du terrain houiller a été soulevé de manière à rejeter à droite et à gauche l'étage moyen, la houille proprement dite, et cela quelquefois à une hauteur considérable. Or, les puits de pétrole sont échelonnés le long de l'axe de ce soulèvement partiel et à peu de distance de la roche déchirée. Un peu plus loin, au nord-est et au sud-ouest de cette zone, la roche est soulevée sans être déchirée; aussi les puits au lieu d'être alignés à droite et à gauche sur les bords de la zone, sont-ils distribués au milieu, dans l'axe même du soulèvement[1].

En France, les gites pétrolifères de *Lobsann*, *Hirtzbach*, *Bechelbronn*, *Schwabwiller* sont alignés suivant une direction parallèle à celle du cours du Rhin entre Bâle et Wissembourg, direction également partagée par la chaîne des Vosges et des montagnes de la Forêt-Noire et connue sous la dénomination générale de *système du Rhin*. Au *système des Pyrénées* on peut rattacher de la même manière la ligne qui joint les sources de *Gabian*, en Auvergne, et les gisements de pyroschistes de *Laval*, *Gaujacq* et *Bastennes*.

Enfin, d'une manière plus générale, nous rappellerons l'alignement des sources minérales (pétroles, bitumes, schistes bitumineux) le long de la ligne de fracture qui joint les bouches de l'Oder à celles du Danube, et comprend les sources pétrolifères du Hanovre, les schistes bitumineux de l'embouchure de l'Elbe et ceux du nord de l'Écosse, et les gisements de Bakou sur les bords de la mer Caspienne ; ces derniers forment avec les gisements de la Crimée une direction parallèle à celle du Tatra, à laquelle se rattachent également les lignes qui joignent Hirtzbach à Avallon et Autun à Vouvant.

Cette subordination des gîtes pétrolifères aux axes de soulèvement, qui sont le résultat des révolutions successives de notre planète, conduit naturellement à poser l'hypothèse que les sources de pétrole ne sont autres que les produits d'émanations souterraines, en un mot de véritables *filons liquides*. Il semble, en effet, tout aussi naturel d'admettre la possibilité de l'existence, à une époque donnée, d'émanations hydrocarburées, que celle des masses pâteuses qui ont formé les dykes de roches éruptives, des vapeurs métallifères ou des dissolutions métalliques auxquelles on attribue généralement aujourd'hui l'origine des *filons métalliques*. Dès lors rien d'étonnant à ce que les failles et les crevasses qui ont précédé, accompagné ou suivi l'apparition des phénomènes plus importants du soulèvement des chaînes de montagnes, aient pu servir sur certains points et à certaines époques de récipients aux vapeurs

1. Société des Ingénieurs civils. — Compte rendu, séance du 8 mars 1867.

hydrocarburées dégagées du sein de la masse centrale, tandis que, sur d'autres points où à des époques différentes, elles ont livré passage aux émanations métallifères et donné naissance aux amas et aux filons de diverse nature. Ajoutons à ces considérations que les faits observés jusqu'ici semblent prouver que la nature des roches éruptives a varié suivant une certaine règle, et que certaines espèces de minerais par exemple appartiennent à des époques parfaitement distinctes, depuis lesquelles leur production est complétement suspendue ; qu'aujourd'hui même la formation des filons métallifères semble avoir tout à fait cessé, et que celle des roches éruptives se trouve réduite à la sortie des laves et des scories de nos volcans actuels. — Or si, jusqu'à ce jour, on n'a pu établir d'une manière générale les rapports qui peuvent exister entre la position des filons et la nature des substances qu'ils renferment, on n'en a pas moins reconnu que leur existence est intimement liée à celle des révolutions qui ont bouleversé l'écorce solide du globe; on est même allé jusqu'à déterminer d'une manière certaine les relations qui existent *dans une région déterminée* entre la direction des filons, l'époque de leur formation et la nature des minerais qu'ils renferment. L'assimilation des sources de pétrole aux gîtes métallifères et aux amas éruptifs ne présente donc aucune anomalie, puisqu'ils semblent être le résultat d'une suite de phénomènes de même ordre.

Pendant longtemps les théories de Werner sur le remplissage des filons par des dissolutions métalliques provenant de l'extérieur ont seules servi à expliquer la présence des minerais dans les failles préexistantes des terrains encaissants; plus tard, l'hypothèse d'un remplissage par émanations gazeuses, venant de l'intérieur du globe, a acquis à son tour une importance considérable, et les deux systèmes sont encore admis aujourd'hui concurremment pour expliquer la formation des gîtes métallifères. Il en sera de même de la question qui nous occupe spécialement; le pétrole, qui remplit actuellement les cavités des divers terrains où on le rencontre, peut aussi bien provenir de la décomposition de matières organiques que de l'émanation d'hydrocarbures arrivant directement du centre de la terre, et les deux espèces de phénomènes peuvent même avoir dans certains cas concouru simultanément à la formation des gîtes pétrolifères. Une dernière observation que nous allons développer vient cependant ajouter à la seconde de ces hypothèses une nouvelle autorité; elle résulte de la relation intime qui semble exister entre les gisements des trois espèces de produits naturels, *soufre*, *sel* et *bitume*.

Relation de gisement entre le soufre, le sel et le pétrole. — Pendant longtemps on avait cru qu'il n'existait aucune règle dans l'ordre d'éruption des diverses matières rejetées par les cratères de nos volcans actuels. Dans ces dernières années, M. Charles Sainte-Claire-Deville a fait voir que, loin d'en être ainsi, les émanations volcaniques

fournissaient successivement et dans un ordre de succession régulier :

1° Des sels alcalins (chlorure de sodium, sulfate de soude, etc.);

2° Les acides chlorhydriques et sulfureux, le chlorure de fer, le soufre, l'acide sulfhydrique et les sels ammoniacaux;

3° Enfin l'acide carbonique, l'azote, l'hydrogène et les carbures d'hydrogène [1].

Le passage de ces produits se trouve marqué dans les cratères des volcans après la fin de l'éruption par trois zones distinctes, dont la première au centre renferme le chorure de sodium et les sels alcalins, la seconde le soufre et la troisième les carbures d'hydrogène. Or, l'étude géologique des contrées environnantes des dépôts de pétrole nous montre presque toujours dans le voisinage de ces derniers la présence des deux autres éléments, le sel marin et le soufre; cette coïncidence nous conduit naturellement à admettre que les phénomènes volcaniques anciens auxquels on doit attribuer sans doute la formation de ces dépôts salins et sulfurés sont également la cause première de l'apparition des amas de carbures d'hydrogène qui les accompagnent.

Peut-être même ces éruptions hydrocarburées n'ont-elles pas cessé à l'époque actuelle et se continuent-elles de nos jours.

Quoi qu'il en soit, la solidarité de ces trois espèces de produits naturels est un fait remarquable que l'on peut constater sur presque tous les points où l'on a rencontré jusqu'ici les huiles de pétrole.

Avant de passer à l'étude particulière des différents gisements de l'ancien et du nouveau continent, nous mettrons sous les yeux du lecteur le tableau de l'ordre de superposition des horizons de pétrole dans les divers étages de la succession géologique composant l'écorce du globe. Ce tableau, qui nous a été communiqué par M. Foucou, met en évidence d'une manière complète la relation des dépôts de pétrole et des amas de sel dans les États-Unis de l'Amérique du Nord, le Canada, la Galicie et le Hanovre. (Voir fig. 1 et 2, planche 14.)

II

DESCRIPTION DES GITES PÉTROLIFÈRES DANS LES DIVERSES CONTRÉES DU GLOBE.

Considérations générales. — La connaissance des sources de pétrole remonte à la plus haute antiquité : Strabon, Dioscorides, Plu-

1. Cette variation dans la nature des produits semble due surtout à la disparition successive des premiers produits à mesure que la température s'abaisse, plutôt qu'à l'apparition de produits nouveaux.

tarque et Pline ont mentionné l'existence de ce produit en donnant aux variétés de couleur claire et transparente le nom de *naphte* qui leur a été conservé jusqu'à ce jour. Les environs de Babylone, Suze, Arbela, Ecbatane en Asie Mineure, Agrigente en Sicile, se trouvent cités par ces auteurs comme les principaux lieux de production. Hérodote parle également de sources existant dans l'île de Zacynthe (actuellement Zante), l'une des îles Ioniennes. Ces substances étaient employées dès lors à divers usages, et quelques-unes servaient déjà à l'éclairage. Les bords de la mer Caspienne (sources de Bakou), les environs de la ville de Rangoon dans la Péninsule indienne, et enfin les sources d'Amiano, en Italie, sont également connues, depuis les temps les plus reculés, comme lieux de production des huiles de naphte et de pétrole.

Toutefois, pendant toute la durée de l'antiquité, l'application de ces substances se trouva restreinte à leur emploi sur les lieux mêmes de production, et malgré les progrès de l'industrie et de la science pendant le moyen âge et les temps modernes, cet emploi ne prit aucune extension; cependant, déjà vers la fin du dix-septième siècle, on avait acquis la connaissance d'une partie des gisements qui existent dans nos contrées. Franc. Ariosti, en 1698, dans un ouvrage intitulé *De oleo montis Zibini s. petroleo agri Mutinensis*, décrit les sources du mont Zibio dans le duché de Modène, comme donnant une huile de couleur jaune, celles du duché de Parme produisant une huile plus colorée, et enfin les sources du mont Ciaro à 12 lieues de Plaisance. Ces dernières fournissaient, d'après cet auteur, de l'huile blanche et transparente : parmi ces huiles les unes jaillissent, dit-il, spontanément du sein de la terre; les autres accompagnent des sources d'eau. Dans un mémoire présenté à l'Académie des Sciences de Paris, en 1736, le docteur Psilanderhielm décrit le procédé employé par les habitants du pays pour extraire le pétrole du Mont-Ciaro: d'après lui, on perçait des trous dans la roche, composée en majeure partie de schistes bitumineux, et l'huile s'écoulait alors avec les eaux d'infiltration. En 1752, M. Bovillet publia un *Mémoire sur l'huile de pétrole en général et particulièrement sur celle de Gabian;* enfin, déjà à cette époque, les Hollandais exploitaient les sources de l'Inde dont ils importaient les produits en Europe.

Mais pour que l'attention générale se trouvât attirée d'une manière spéciale sur ce genre de substances, il fallait : premièrement, que les circonstances amenassent la découverte de gisements assez importants pour pouvoir suffire à une exploitation active et régulière, et en second lieu, que les produits en fussent en même temps assez purs pour pouvoir trouver un emploi immédiat sans nécessiter un traitement préalable difficile et coûteux. Aucune des localités précitées ne présentait simultanément ces deux conditions, que l'on rencontre au contraire réunies dans les produits des sources de l'Amérique du Nord. L'existence de ces sources a cependant été connue de longue date; mais les Indiens et les premiers colons

européens n'attachèrent que peu d'importance à ce produit reconnu seulement sur quelques points et en petite quantité sans doute. Il fallait encore que de récentes découvertes vinssent démontrer l'abondance de ces gîtes, à une époque où le génie industriel des populations américaines commençait à acquérir ce développement qui fait aujourd'hui sa force, et au moment où la valeur toujours croissante des matières combustibles devait faire saluer avec enthousiasme l'apparition d'une substance nouvelle, pouvant lutter à la fois avec la houille comme combustible, avec le gaz et les huiles végétales comme substance éclairante.

Ce fut en 1857 que les premiers essais d'utilisation du pétrole pour l'extraction des huiles minérales d'éclairage furent tentés en Amérique. Jusque là on ne faisait usage sur le continent américain que des huiles de schiste obtenues par la distillation des pyroschistes que l'on rencontre en abondance dans plusieurs états à l'est du Mississipi, et des *bog-heads* d'Écosse beaucoup plus riches en hydrocarbures liquides, mais dont le prix de revient aux États-Unis était nécessairement très-élevé. C'est dans le but de s'affranchir de la nécessité de faire venir des produits étrangers, que les Américains tournèrent leur attention vers ceux que leur offrait le sol qu'ils habitaient; l'impulsion une fois donnée, les bras et les capitaux ne firent pas défaut aux aventureux Yankees pour sonder de tous côtés le territoire de l'Union, dans l'espoir d'y rencontrer ces sources bienfaisantes dont la découverte ne tardait pas à faire la fortune de leur heureux possesseur.

En présence du succès de ces recherches et de l'extension considérable que prirent dès les premières années le commerce et l'industrie des huiles de pétrole, les Européens se demandèrent à leur tour si, moins favorisés que leurs rivaux, ils ne possédaient pas quelques mines de ces précieuses substances; et après avoir essayé, mais vainement, de soutenir une lutte inégale avec leur fabrication d'huiles de schiste, fatigués de payer à l'Amérique ce nouveau tribut, ils ne tardèrent pas, eux aussi, à jeter les yeux sur les gisements indigènes. De nombreuses recherches furent entreprises sur divers points; mais il manquait, pour en assurer le succès, cet ensemble, cet enthousiasme spontané et cet appui intelligent du capital qui caractérisent la plupart des entreprises américaines et les conduisent toujours à leur but dans un avenir plus ou moins rapproché. Néanmoins d'importantes découvertes ont récompensé ces premiers efforts, et l'une des principales conséquences de cet élan a été de diriger vers ce côté l'esprit des hommes de science dont le concours est venu jeter une nouvelle lumière sur cette question et nous promet encore pour l'avenir d'intéressantes révélations.

Nous passerons rapidement en revue les gisements de pétrole les plus importants du nouveau monde et du continent européen en indiquant sommairement leurs principales conditions géographiques et géologiques.

Amérique du Nord. — Les trois principales régions des États-Unis, où l'on rencontre en abondance les sources de pétrole brut, sont les provinces du Haut-Canada, de Venango-County en Pensylvanie, et de Wood-County en Virginie. — Toutefois on a constaté l'existence de ce produit sur presque tous les points du territoire américain. Le Texas, le Missouri, les montagnes Rocheuses, la Californie en fournissent également. La région pétrolifère de la Californie s'étend le long des côtes de l'océan Pacifique, depuis la limite septentrionale du comté de Monterey jusqu'à la baie de San-Diego. Les principales sources de produits bitumineux naturels, découvertes jusqu'à ce jour en Californie, sont situées :

1° Dans les montagnes de Santa-Cruz, au sud du comté de Santa-Clara ;

2° Dans les montagnes de Santa-Luis Obispo, vallée du même nom, et sur le territoire de Napona;

3° Près de la ville de Santa-Barbara, au *Rincon* de San-Bonaventura, et à environ 18 milles de la rivière de Santa-Clara ;

4° Dans le comté de Los Angeles, sur la Sierra-Susana ; à San-Pedro Hell et à San-Juan Capistrano.

Au nord de la Californie, dans la vallée de Mattole, comté de Humbold, à Buena-Vista, comté de Tulon, et sur le versant oriental de la chaîne des montagnes de la côte (Coast Kange), à 40 milles de Firebranch-Ferry on exploite également, depuis quelques années, d'abondantes sources de pétrole[1].

Les sources de pétrole de l'Amérique du Nord, dit M. Foucou[2], se trouvent toutes situées dans les couches inférieures à l'étage carbonifère moyen, comme l'indique la coupe de la fig. 1, planche 14, qui donne les horizons géologiques des divers gisements pétrolifères du nouveau continent.

Ces différentes régions appartiennent toutes, ainsi qu'on le voit, aux formations paléozoïques du grand bassin occidental. — Dans les calcaires de Trenton et ceux de la formation cornifère auxquels on peut rapporter les sources minérales du Canada, on trouve le pétrole remplissant des cavités dans des brachiopodes, des orthocères, des coraux et imprégnant également certaines parties poreuses du calcaire. Ces parties oléifères se trouvent comme noyées dans la masse d'un calcaire compacte ne présentant aucune trace de pétrole, de telle sorte qu'il semblerait que l'huile minérale, ou tout au moins la matière première qui a pu lui donner naissance, occupe sa position actuelle, depuis le dépôt de ces sédiments. Les mêmes conditions se retrouvent dans les calcaires dévoniens et siluriens inférieurs.

Aux îles Manitoulines et sur les bords du lac Huron, les puits forés

1. *Annales du commerce extérieur.*

2. Société des Ingénieurs civils. — Séance du 8 mars 1867.

pour la recherche du pétrole traversent une couche de schistes de 100 à 140 pieds d'épaisseur avant d'atteindre le calcaire du groupe de Trenton, dans lesquels on rencontre à diverses profondeurs des fissures qui ont fourni, en certains cas, plusieurs mille litres de pétrole. Ces puits sont, jusqu'à présent, moins productifs que ceux des terrains devoniens; mais on a cependant découvert des sources très-abondantes dans le silurien inférieur du Kentucky.

Dans le sud-ouest du Canada, les puits au moyen desquels on extrait le pétrole des calcaires cornifères ou des marnes et schistes d'Hamilton traversent une couche de dépôts quaternaires de 50 et 150 pieds d'épaisseur. Les premières assises de ces dépôts, formées de couches d'argile et de gravier sont souvent saturées de pétrole.

La production des puits dans ces diverses régions a été généralement très-variable. Quelques-uns ont donné, à l'origine, jusqu'à 2 et 3000 barils en vingt-quatre heures, pendant plusieurs semaines; beaucoup rendent encore 200 barils et plus, et un plus grand nombre 50 barils. Tous ceux qui ne donnent pas plus de 10 à 12 barils sont momentanément abandonnés.

La production totale du pétrole brut dans l'Amérique du Nord, du 1er janvier 1861 au 1er janvier 1868, a atteint le chiffre de 1,500,000 tonnes. Dans la seule vallée de Oil-Cruk, la production journalière s'élève à 11,000 barils.

Amérique du Sud. — On a signalé dernièrement l'existence de sources abondantes de pétrole dans la République Argentine, à Garrapatal, province de Jujuy.

Asie. — En Asie, nous avons à mentionner les sources de Rangoon dans le Birman, et celles de Bakou sur les bords de la mer Caspienne. Dans la presqu'île d'Apcheron on comptait, en 1865, 220 puits de naphte blanc et noir appartenant à l'État, qui les afferme à des particuliers[1].

On trouve également de l'huile de pétrole à Hit et dans plusieurs îles de l'archipel Indien, sur les bords du lac Baïkal en Sibérie, et enfin dans l'empire Chinois. Il faut aussi rattacher à ces produits les sources de bitume de la mer Morte.

Afrique. — L'Afrique fournit également son tribut au commerce des huiles minérales, et l'on importait à Liverpool une assez grande quantité de pétrole africain, avant la découverte de cette substance aux États-Unis.

Galicie. — Principautés Danubiennes. — De tous les États de l'Europe, ceux qui paraissent être les plus favorisés sous le rapport de

1. *Cosmos*, 1865, 25 octobre.

la production des huiles de pétrole ce sont les contrées orientales, et notamment la région qui de la mer Noire s'étend le long des rives du Danube, jusqu'au cœur de l'empire d'Autriche.

Les Principautés Danubiennes et la Galicie présentent des gîtes nombreux de pétrole, dont l'exploitation promet pour l'avenir des résultats importants.

Les couches dans lesquelles on rencontre le pétrole en Galicie sont des schistes ou des argiles plus ou moins imprégnés de matières hydrocarburées. Ces terrains sont compris dans les grès à nummulites correspondant eux-mêmes à l'étage inférieur de la formation tertiaire. Il est à remarquer que l'on ne rencontre plus trace de pétrole dans *l'étage* moyen, dont les couches viennent affleurer un peu plus au Nord. C'est également au prolongement de la formation tertiaire inférieure de la Galicie qu'appartiennent les gîtes de la Moldavie et de la Valach*ie*, dont la direction générale comme celle des précédents court parallèlement à la crête des Carpathes.

En 1865, M. Foucou, dans un voyage d'exploration dont il a rendu compte à la Société des ingénieurs civils[1], a compté près de 4000 puits ouverts dans la Galicie occidentale, et il est à présumer que depuis cette époque leur nombre n'a pas cessé de s'accroître. Toutefois, *la nonchalance* des habitants du pays, le manque de capitaux et le mauvais état des voies de communication, ont été jusqu'ici des obstacles considérables à l'extension de l'exploitation du pétrole dans ces contrées; mais il est à supposer que, sous l'influence d'un régime plus libéral et plus favorable au développement de l'industrie, elle prendra bientôt toute l'importance que semble devoir lui assurer la nature de ses produits et la proximité des pays de consommation. C'est ce qui nous engage à entrer dans quelques détails sur la situation géographique et géologique de ces gisements.

Les sources de pétrole appartiennent, en Galicie, à la formation des schistes bitumineux qui vont de Saybusch à Dukla en se prolongeant au travers de la partie méridionale de la Galicie jusque dans la Bukowine et la Moldavie, et qui font eux-mêmes partie des assises inférieures du terrain tertiaire.

On rencontre généralement les sources d'huile minérale à deux ou trois lieues de distance de la crête des Carpathes, dans un schiste jaune ou bleuâtre, portant de nombreuses empreintes végétales et plongeant vers le Nord. Ces gisements, qu'accompagnent souvent des sources d'eau salée, sont divisés en trois groupes principaux, qui diffèrent non-seulement par leur position géographique, mais encore par la nature de leurs produits.

Comme caractère général des gisements de la Galicie, nous ferons re-

1. Séance du 15 septembre 1865.

marquer que, sur tous les points, l'huile apparaît à quelques pieds de profondeur au-dessous du niveau du sol.

Les points principaux du district pétrolifère de la Galicie orientale se trouvent réunis dans les environs immédiats de Drohobycz et Boryslaw, dans le district de Sambor où l'on comptait, en 1865, environ 4000 puits, dont plusieurs produisaient en moyenne 8000 kilogrammes d'huile par année.

La région moyenne comprend la zone de schistes hydrocarburés, qui se dirigent de la partie occidentale vers l'Est, du côté de Neusandecz, et renferme comme points importants pour l'extraction de l'huile, les localités de Gorlice, Nozdziele, Dukla, Polanka et Rymanow dans le district de Jaslo. A Polanka, un habitant du pays a obtenu d'un seul puits creusé dans le grès environ 2000 tonnes de pétrole, dans l'espace de deux ans et demi (de 1861 à 1863).

La région occidentale s'étend sous la forme d'une zone d'une demi-lieue de large sur une longueur de trois lieues, à partir de Kleczany jusque dans le district de Sandecz, enveloppant dans ce parcours les localités de Wieloglowy, Ubiad et Klinkowka.

L'huile provient dans cette région des schistes siliceux et argileux. Les premiers se rencontrent souvent sous une très-forte inclinaison; ils sont toujours fracturés, sillonnés de nombreuses veines de carbonate de chaux, et leurs fentes et délits renferment souvent des traces de pyrites de fer.

Les schistes argileux sont fréquemment très-bitumineux, rayés de bandes brunes, à texture molle, et sur certains points si riches en bitume, qu'ils peuvent brûler comme le *cannel-coal*. On y trouve également des sources d'eau *salée* et *sulfureuse*.

Ces deux espèces de schistes appartiennent à la formation du grès des Carpathes, dont la position dans l'échelle géologique correspond à l'intervalle entre le terrain néocomien et l'étage tertiaire inférieur.

Plusieurs indices ont conduit M. Hochstetter[1] à considérer le terrain schisteux-pétrolifère de la Galicie occidentale comme appartenant à la période éocène.

La production totale de la Galicie s'élèverait, d'après M. Schmidt[2], à environ 5000 tonnes par année.

Nous empruntons encore au mémoire de M. Hochstetter quelques indications sur le rendement de plusieurs puits de la Galicie occidentale, pendant les premières années qui suivirent leur mise en exploitation.

Les puits dont il s'agit, situés au nord de Smolnik, sur le versant méridional d'une colline boisée, sont alignés suivant une ligne dont la direction court N. 30° O. à S. 30° E.

1. Ueber das Vorkommen von Erdöl u. Erdwachs im Sandecer Kreise, 1865.
2. Die Erdöl-Reichthümer Galiciens, 1865.

La production totale de ces puits atteignit :

En 1859, de janvier à décembre . .	129,759	livres viennoises.
En 1860, de janvier à décembre. . .	82,878	—
En 1861, de janvier à avril	8,636	—
En 1862, de janvier à décembre. . .	47,785	—
En 1863, — — . . .	24,775	—
En 1864, de janvier à septembre . .	8,272	—
Total.	302,055 l. v. = 144,986 kil.	

Lorsque M. Hochstetter visita cette contrée en automne 1864, sept puits nouvellement percés produisaient seuls encore de l'huile, et leur rendement ne s'élevait qu'à 1000 kilogrammes par mois environ. Il cite encore un puits aux environs de Kleczany, qui donna pendant un certain temps 215 kilogrammes par jour. Quelque faibles que soient ces rendements, surtout si on les compare à ceux des puits de l'Amérique du Nord, ils ne se maintiennent cependant que pendant les premiers temps qui suivent le percement des puits, et les résultats généralement obtenus n'ont pas répondu d'une manière bien satisfaisante aux efforts des industriels qui ont cherché à tirer parti de ces gisements.

Outre la diminution du rendement, l'abondance des gaz a été un obstacle très-fréquent à la continuation des travaux de recherche et d'exploitation. Cependant, en appliquant à ces travaux les moyens perfectionnés mis en usage depuis plusieurs années par les Américains, il n'est pas douteux que l'on ne parvienne à vaincre ces obstacles, et tout porte à croire que l'on arriverait alors, en s'avançant plus profondément dans le sol, à rencontrer des sources plus abondantes.

Hanovre. — Dans le Hanovre on a découvert, depuis quelques années, des sources assez importantes de pétrole, qui donnent lieu actuellement à une petite exploitation. Sur quelques points, l'huile de pétrole arrive spontanément au jour, en sortant des couches du terrain néocomien ou du terrain jurassique, quelquefois même des dépôts arénacés de la période diluvienne. Sur d'autres points, on ne peut obtenir ce produit qu'en creusant des puits à des profondeurs variables. A Hénigsen, au sud de Celle, on trouve le pétrole à la fois dans les sables diluviens et dans la couche d'argile sur laquelle ils reposent. A Œdesse, au nord de Peine, et à Oberg, au sud de la même ville, c'est dans le terrain jurassique moyen que l'on va chercher le pétrole à l'aide de puits, dont la profondeur atteint quelquefois jusqu'à 60 mètres. Enfin à Sehnde, à l'est de Hanovre, le pétrole se rencontre dans l'argile du lias [1]. La ville de Sehnde occupe l'extrémité Est du grand bassin houiller du nord :

1. *Exposition universelle de* 1867.

l'Europe occidentale, et la découverte du pétrole dans cette localité fut le résultat des recherches auxquelles on se livra, il y a plusieurs années, pour retrouver dans le sous-sol de la contrée le prolongement des couches de houille de ce bassin. L'un des puits, creusé dans les schistes marneux qui recouvrent en ce point le calcaire en contact avec le terrain houiller, rencontra dans une galérie horizontale poussée à 20 mètres du sol un sable chargé d'une matière bitumineuse. En voulant poursuivre cette veine, les ouvriers donnèrent issue à des accumulations de gaz hydrogène carboné, dont l'inflammation spontanée arrêta les travaux de recherches. Les galeries et les puits abandonnés se remplirent d'eau peu à peu, et l'on vit arriver à la surface une véritable source de pétrole. En 1865, époque à laquelle M. Goschler, qui a bien voulu nous communiquer ces renseignements, visita le puits de Sehnde, on ne retirait plus qu'un ou deux hectolitres par semaine.

M. Foucou a également constaté la présence du pétrole au Hanovre dans le Muschelkalk, et rapporte à ce terrain tous les gîtes de ce pays. (Voir le tableau de la planche 14.)

La Westphalie renferme aussi quelques sources de pétrole.

Russie. — La Russie et l'Italie tiennent actuellement le second rang après l'Allemagne, pour la production des hydrocarbures naturels liquides. Sans tenir compte ici des gisements de la mer Caspienne, du Caucase et du lac Baïkal, que nous avons déjà cités comme appartenant au continent asiatique, et qui sont situés sur le territoire de l'Empire russe, nous indiquerons les sources du gouvernement d'Arkangel, situées près d'un affluent de la Petchora, celles des bords du Volga, dans les gouvernements de Kasan, de Simbiron et de Samara; celles des presqu'îles de Crimée, de Kertsch et de Taman.

Italie. — En Italie on a trouvé, à 30 mètres de profondeur, des sources abondantes de pétrole sur le versant oriental des Apennins, dans les Abruzzes, aux environs de Zolla, ainsi qu'à Peretta, entre Bologne et Florence.

L'arrondissement de Chiéti (Abruzzo citeriore) contient trois gisements de pétrole. Dans l'un de ces dépôts, situé au bas du *Collo d'Oro*, non loin de Tano Casauria, on retire un produit remarquable par sa pureté, d'un puits de 60 mètres de profondeur. Le second dépôt consiste en une source naturelle de bitume mélangé de terre et d'eau, que l'on est obligé de distiller pour en retirer un produit commercial. A Lettomanopello, enfin, les résultats peu satisfaisants obtenus jusqu'ici, ne semblent pas promettre un grand avenir à cette exploitation.

Beaucoup de puits existaient dès le commencement de ce siècle dans les territoires de Parme et de Plaisance, et notamment dans les environs de Pornovo, Medesano et Grapperello. On prétend qu'il fut une époque

où le pétrole de Miano aurait suffi à l'éclairage des villes de Parme, Gênes et Borgo-San-Domingo, et quelques puits produisaient, dit-on, jusqu'à 200 et 300 kilogrammes par jour; mais cette production a diminué peu à peu et a fini par disparaître complétement.

Les puits de pétrole dans l'Émilie se réduisaient, en 1867, à dix-neuf, tandis qu'on en comptait encore vingt-huit en 1862, et leur production journalière atteignait à peine en dernier lieu 26k,270, soit environ 9,628 kilog. par année[1].

En présence de ces résultats, on comprend qu'une forte impulsion serait nécessaire pour donner à cette industrie tout le développement qu'elle pourrait atteindre. C'est dans le but de favoriser ce mouvement que le gouvernement italien accorda, en 1866, trois concessions nouvelles pour l'exploitation du pétrole dans les provinces de Pavie et de Plaisance. Deux de ces concessions sont situées sur le territoire de Fornovo, la troisième embrasse les terrains de la vallée de Riglio, sur le territoire de la commune de Croppello. Malheureusement les résultats n'ont pas répondu aux efforts tentés par le gouvernement, et nous croyons savoir qu'une partie de ces travaux de recherche ont été même complétement abandonnés. Faut-il en accuser la stérilité des couches exploitées, ou doit-on faire retomber la cause de cet insuccès sur la mauvaise direction des entreprises, c'est ce que nous n'oserions décider.

France. — La France possède, elle aussi, ses gisements de pétrole. Ces gîtes, au nombre de cinq, sont répartis de la façon suivante :

Dans le département du Bas-Rhin. .	A Lobsann.
	A Beschelbronn.
	A Schwabviller.
— du Haut-Rhin. . . .	A Hirtzbach.
— de l'Hérault.	A Gabian.

Le dernier ne donne guère que des produits de nature tout à fait secondaire, de consistance visqueuse, fortement chargés de soufre et très-difficiles à épurer.

Les pétroles d'Alsace, plus favorisés sous le rapport de la qualité, ne se rencontrent qu'en quantités relativement peu considérables et n'ont pu donner lieu, par conséquent, jusqu'ici à une exploitation bien importante.

Espagne et Portugal. — L'Espagne, le Portugal, la Grèce et les îles Ioniennes ont également leurs sources de pétrole.

Le pétrole se rencontre, en Portugal, dans le terrain crétacé du de-

1. *Exposition universelle de 1867.* — Documents publiés par la Commission italienne.

trict de Leiria. On le trouve là en amas quelquefois considérables, dans des couches de grès bitumineux affleurant à Granja, à Marrazes-Peavas-Negros et Canto, à Azeche. C'est dans la première de ces localités, près du mont Réal et de la rivière Liz, que se trouve concentrée l'exploitation de ce produit. Le grès forme en cet endroit quatre couches, dont l'épaisseur varie de $0^m,30$ à $2^m,40$, dirigées N.-S. et affectant une position presque verticale; elles alternent avec des bancs d'argiles et de marnes, et forment la base d'une série assez étendue de dépôts de sédiment caractérisés par des fossiles d'eau douce et correspondant sans doute à l'étage wealdien.

DEUXIÈME PARTIE.

APPLICATIONS DES HUILES DE PÉTROLE.

CHAPITRE PREMIER.

EXPLOITATION DES GISEMENTS DE PÉTROLE *BRUT*.

I

EXTRACTION DES HUILES DE PÉTROLE.

Nous ne nous étendrons pas longuement sur cette question qui n'offre d'ailleurs pas de particularités remarquables.

Amas superficiels. — Dans certains cas, les gisements de pétrole, ainsi que nous avons eu occasion de le dire en passant, sont de véritables amas superficiels; l'huile arrive au jour en suintant au travers des couches de sable ou des fissures de la roche qui la contient; il suffit alors de faciliter son écoulement naturel par des tranchées convenablement disposées, et de la faire arriver par des canaux dans des puisards ou on la recueille avec la plus grande facilité. — Ce moyen primitif est mis en usage dans un grand nombre de localités, où il est parfaitement suffisant pour satisfaire aux besoins de l'exploitation généralement alors peu importante.

Sources intérieures. — Mais les sources de pétrole n'apparaissent pas toujours dans des conditions aussi avantageuses. La plupart du temps, au contraire, c'est à une profondeur plus ou moins considérable, qu'il faut aller les chercher, et si dans ces régions on rencontre encore çà et là quelques amas superficiels, leur importance est trop restreinte pour qu'ils puissent servir de base à une exploitation régulière; ils ne sauraient être considérés alors que comme les indices de l'existence de gisements plus importants situés dans le sous-sol environnant.

Études préliminaires et travaux de sondage. — Les considérations que nous avons developpées précédemment, au sujet de

l'origine des huiles de pétrole, trouvent une application immédiate dans la recherche des sources de pétrole ; elles nous amènent tout naturellement à considérer l'étude géologique de la contrée comme nécessaire et même indispensable à l'ingénieur chargé de cette recherche. Cette étude devra porter principalement sur les points suivants :

1° Détermination géologique et minéralogique des terrains composant le sol de la contrée à explorer ;

2° Détermination des directions des principales lignes de fracture et des axes de soulèvement qui l'ont sillonnée à diverses époques ;

3° Détermination aussi exacte que possible de la position géographique et géologique des dépôts de soufre, de sel et de produits bitumineux qui peuvent se rencontrer dans les limites de la contrée en question, ou à quelque distance de ses frontières dans les pays environnants.

En tenant compte, dans cette étude, des circonstances qui accompagnent généralement l'existence des sources de pétrole et des conditions dans lesquelles on les rencontre dans les contrées où l'on a pu les étudier d'une façon plus complète, on pourra réunir ainsi une série d'indications qui serviront à déterminer d'une manière approximative les limites du champ où l'on devra effectuer les premières recherches ; puis à l'aide de sondages multipliés sur différents points de la région ainsi déterminée, on arrivera à reconnaître la profondeur à laquelle se trouve la nappe liquide [1].

Ces sondages pourront s'effectuer par les procédés ordinairement employés au fonçage des puits artésiens, et varieront naturellement avec les ressources du pays dans lequel on se trouve. C'est ainsi qu'aux États-Unis les premières recherches effectuées au milieu des vallées solitaires de la Pensylvanie et de la Virginie, furent entreprises avec un matériel très-imparfait, et c'est au moyen du sondage à la corde que les premiers explorateurs atteignirent les premières nappes de pétrole. Bientôt cependant la nécessité d'obtenir une plus grande rapidité dans le percement des puits amena l'introduction d'engins plus perfectionnés ; le sondage à la vapeur remplaça peu à peu le sondage à la main. Nous ne nous arrêterons pas sur les procédés de sondage et la description des outils et appareils employés à cette opération, et dont l'étude ne rentre pas dans le programme de ce travail ; nous rappellerons seulement que les trous de sonde dont le diamètre varie de $0^m,08$ à $0^m,40$ sont tubés sur toute leur hauteur. D'après M. Foucou, le prix de revient d'un trou de sonde de ce dia-

1. M. Édouard Schmidt, dont nous avons déjà mentionné le travail, cite comme l'un des principaux indices de l'existence des sources de pétrole, en Galicie, la présence d'une matière solide, espèce de *cire minérale* (Erdwachs) dans les cavités des terrains encaissants. Cette matière, composée en grande partie de paraffine, serait le résidu d'une distillation des huiles minérales dont les produits plus légers se seraient évaporés dans l'atmosphère. A Kleczany on rencontre cette substance à une profondeur de 3 mètres sous forme de petites masses de 1/2 à 1,5 millimètres d'épaisseur dans les failles du terrain.

mètre et de 200m de profondeur serait, aux États-Unis, de 1 000 à 1,200 francs, et ce travail s'exécuterait dans l'espace de trois mois.

En Galicie, où ces procédés perfectionnés n'ont pas encore été introduits d'une manière suivie, l'exploitation se fait généralement à l'aide de véritables puits dont la profondeur varie de 20 à 40 et 60m. Ces puits dont les dimensions sont d'environ 1m,20 à 1m,50 en carré, sont boisés et fermés à la partie supérieure par un couvercle étanche destiné à empêcher l'entrée de l'eau et à mettre l'huile à l'abri du refroidissement extérieur, qui lui ôtant une partie de sa fluidité rend l'extraction plus difficile.

Aussitôt que l'on atteint la couche oléifère (laquelle se rencontre habituellement à 3 ou 4 mètres de profondeur), l'huile qui suinte au travers des parois vient se réunir au fond des puits, où elle surnage ordinairement sur une couche d'eau toujours plus ou moins salée. Ce mélange d'eau et d'huile est retiré à l'aide de seaux manœuvrés par un treuil, et la séparation des deux liquides se fait au jour dans des reservoirs placés à cet effet aux environs de l'orifice du puits. Aussitôt que la production d'huile vient à diminuer d'une manière sensible, on approfondit le puits de quelques mètres et l'on continue ainsi jusqu'à une profondeur de 60 mètres environ. L'abondance des gaz, l'affluence des eaux et la mauvaise construction des boisages s'opposent généralement à ce que l'on puisse pousser les travaux plus loin. Souvent même on s'arrête à 20 mètres et l'on perce un nouveau puits à côté du premier, de telle sorte que l'on aligne souvent ainsi peu à peu une série de puits espacés de 4 à 6 mètres les uns des autres.

Séparation des gaz et règlement de l'écoulement du liquide. — Dans les premiers puits forés aux États-Unis, la sortie simultanée des gaz et des liquides donna lieu à de fréquents incendies, et la rapidité de sortie de l'huile dont on ne pouvait modérer ni régler l'écoulement amena des pertes considérables de matière.

De nombreux perfectionnements introduits depuis cette époque, dans l'exploitation de ces puits, ont permis de remédier à ces inconvénients. Aujourd'hui les gaz amenés par un tuyau spécial sont employés au chauffage des appareils de vaporisation, et quant à l'écoulement du pétrole brut, on arrive à le régler s'il est nécessaire, au moyen d'un procédé fort ingénieux employé pour la première fois en 1863 au Canada et décrit dès cette époque par M. Gauldrée Boileau[1]. On introduit dans l'orifice du puits un sac en cuir rempli de graine de lin auquel on donne le nom de *seed-bag* et traversé par un tube de plus petit diamètre que le trou de sonde; la graine, se gonflant au contact de l'huile, produit une fermeture hermétique, et en superposant ainsi une série de tubes de plus

1. *Annales des Mines.*

en plus petits on arrive à pouvoir régler la sortie du liquide à l'aide d'un simple robinet.

Rien n'empêcherait d'appliquer ces principes à l'exploitation des puits de la Galicie, où l'affluence des produits gazeux vient si fréquemment entraver la continuation des travaux; nous ne croyons pas cependant que jusqu'ici aucune tentative de ce genre ait été faite dans les bassins pétrolifères du continent européen.

Emmagasinage du pétrole brut. — L'huile brute au sortir de la source doit être immédiatement emmagasinée dans des barils ou des reservoirs fermés, pour éviter une trop grande évaporation et mettre les produits, autant que possible, à l'abri des causes d'incendie. Nous examinerons plus loin les conditions que doivent remplir les barils et les reservoirs destinés au transport des huiles de pétrole brutes ou épurées.

Dans certaines parties des États-Unis, où les voies de transport aux environs des lieux de production sont d'un parcours difficile pour des charettes chargées de barils, on a installé des conduites en fer au moyen desquelles en refoulant l'huile à l'aide d'une pompe mue par une machine à vapeur, on arrive à la transporter ainsi jusqu'à une distance de 10 et 12 kilomètres.

II

APPLICATIONS DU PÉTROLE BRUT.

Observation générale. — Les propriétés intéressantes des hydrocarbures liquides, que nous avons étudiées au commencement de ce mémoire, ont servi jusqu'ici de bases à une certaine quantité d'applications industrielles, dont le nombre ne tardera certainement pas à s'accroître lorsque les travaux des hommes spéciaux qui se sont adonnés à l'étude de ces subtances auront jeté un jour nouveau sur ces questions.

En laissant de côté quelques applications de second ordre, on peut réduire à trois les emplois industriels des huiles de pétrole brutes.

Principaux emplois du pétrole brut.— La première et la plus importante aujourd'hui des applications industrielles de ce produit est basée sur le grand pouvoir éclairant des hydrocarbures liquides. Mais, vu la difficulté que l'on éprouve à brûler le pétrole brut sans odeur et sans fumée, on est conduit à lui faire subir, auparavant, une épuration qui le débarasse des matières étrangères et de l'excès de carbone qu'il contient. Cette épuration, qui exige plusieurs opérations successives, a donné naissance dans ces dernières années à une industrie toute spéciale, et dont le développement s'est effectué avec une rapidité inconnue jusqu'alors. L'importance qu'elle a acquise lui assure une place parmi

les principales industries chimiques ; aussi ferons-nous de son étude une des questions principales de ce mémoire.

L'inflammabilité des huiles de pétrole, et surtout leur grande capacité calorifique, en font un excellent combustible, et leur emploi pour le chauffage des machines fixes et mobiles pourrait constituer une application d'un grand intérêt, non-seulement pour la science mais aussi pour l'industrie.

Enfin la transformation des hydrocarbures liquides en hydrocarbures gazeux, sous l'influence de la chaleur rouge, nous fournira l'occasion d'étudier l'application du pétrole brut à la fabrication du gaz d'éclairage.

Il s'en faut de beaucoup que ces trois applications aient atteint aujourd'hui une importance égale.

L'emploi du pétrole brut comme combustible, malgré tous *les* avantages qu'il semble présenter, a rencontré jusqu'ici de nombreux obstacles dont les plus importants sont l'élévation du prix de revient de ce produit, et la difficulté de construction des foyers. De récentes expériences faites sur ce sujet, par M. Henri Sainte-Claire-Deville, ont donné des résultats assez satisfaisants pour qu'il soit possible d'espérer de voir bientôt résolue la seconde de ces questions. Mais la première objection subsiste toujours dans toute sa force, et il est à craindre qu'en admettant que l'on arrive bientôt à construire industriellement des foyers capables de brûler les hydrocarbures liquides, le prix du pétrole demeure toujours trop élevé et sa production toujours trop restreinte pour que l'on puisse en faire un usage avantageux dans l'industrie.

Cette même raison a été également jusqu'ici un obstacle capital à l'application industrielle des huiles de pétrole pour la production du gaz.

Il n'en a pas été de même de l'emploi du pétrole comme huile d'éclairage. Ici au contraire, la cherté relative des huiles végétales a assuré aux huiles minérales un débouché très-étendu, et leur consommation tend à augmenter journellement en présence des applications nouvelles auxquelles on a employé les huiles d'origine végétale et de la grande extension qu'a prise dans ces dernières années la fabrication des savons et des acides gras.

Déjà, avant la découverte des sources de pétrole aux États-Unis, les huiles de schistes avaient remplacé sur certains points les huiles végétales pour l'éclairage privé et public ; mais la supériorité des huiles de pétrole est telle, que partout où des difficultés matérielles ne se sont pas opposées à leur emploi, on les a substituées aux huiles de schiste, quels que soient d'ailleurs les progrès que l'on ait réalisés dans la fabrication de ces dernières depuis que les fabricants ont eu à soutenir une lutte désespérée contre les envahissements toujours croissants de l'emploi des huiles de pétrole.

Il ne faudrait d'ailleurs pas juger cette question en considérant se-

lement ce qui se passe autour de nous ; car, loin de rester stationnaire comme en France, la consommation des huiles minérales va toujours en croissant dans les autres pays de l'Europe. Sur plusieurs points, l'huile de pétrole fait à l'éclairage au gaz même une sérieuse concurrence, et cela non-seulement dans les pays du nord, mais dans le midi de l'Europe, en Espagne, où la température élevée qui règne une grande partie de l'année aurait dû plutôt être un obstacle à la généralisation de son emploi.

CHAPITRE II.

TRAITEMENT INDUSTRIEL DES HUILES DE PÉTROLE BRUTES POUR OBTENIR LES HUILES D'ÉCLAIRAGE.

I

DISTILLATION.

But de l'opération. — La première opération à laquelle on soumet les huiles de pétrole brutes est la distillation en vase clos. Le but de cette opération est d'isoler les parties qui peuvent être appliquées avec avantage à l'éclairage.

Nous avons vu, en effet, dans la première partie, qu'à l'aide d'une distillation fractionnée, on arrivait à retirer des huiles de pétrole brutes divers produits qui peuvent être classés dans l'ordre suivant :

1° Hydrocarbures liquides et incolores, d'une densité de 0,600 à 0,710, bouillant de 30 à 120° centigrades, et dont l'ensemble forme un produit connu dans le commerce sous le nom de : *essence de pétrole*, *substitut de térébenthine*, *kérosène*, *éther de pétrole*, etc., etc.

2° Hydrocarbures de couleur jaune clair pesant de 0,710 à 0,820 (0,800 moyenne), dont le point d'ébullition varie de 120° à 200° centigrades et constituant la véritable huile de pétrole destinée à l'éclairage.

3° Hydrocarbures d'une teinte plus foncée, d'une densité de 0,840 en moyenne, abandonnant, par le refroidissement, des écailles de paraffine en plus ou moins forte proportion, distillant de 200 à 250° et connus sous le nom d'*huiles lourdes*.

4° Un mélange d'hydrocarbures liquides et de paraffine de couleur jaune d'ocre ou vert foncé, suivant la nature des matières premières, et servant sous le nom de *graisse verte* à l'extraction de la paraffine.

5° Enfin un résidu solide, composé d'un coke spongieux très-léger et presque complétement pur si la distillation a été poussée à bout.

Conduite de l'opération. — La proportion relative de ces divers produits varie, ainsi que nous l'avons déjà vu, avec la nature de la matière brute employée ; la conduite de l'opération et le système de distillation dont on fait usage influent également sur ce rendement. L'huile d'éclairage, étant de tous ces produits, celui qui offre le plus d'intérêt, on devra nécessairement conduire l'opération en vue d'en obtenir la plus forte proportion possible. Cette proportion ne saurait sans doute dépasser une certaine limite variable pour chaque espèce d'huile, et au delà de laquelle le mélange obtenu présenterait des propriétés incompatibles avec son emploi dans l'éclairage domestique; mais entre ces limites il peut y avoir encore des variations assez grandes dans la quantité d'huile d'éclairage recueillie.

La division des diverses espèces de produits étant basée sur la densité des hydrocarbures qui distillent aux différents moments *de l'opération*, il est de toute nécessité de maintenir toujours la température aussi basse que possible, afin que la distillation des carbures propres à l'éclairage ne commence pas avant que tous les produits d'une densité inférieure n'aient été préalablement enlevés.

Une distillation lente et régulière sera donc la première condition à observer pour arriver à un bon résultat. En négligeant cette précaution on rend la séparation des différentes espèces de produits plus difficile, et on s'expose : d'une part, à obtenir des huiles d'éclairage trop légères ou trop lourdes — et par conséquent de mauvaise qualité; — ou, d'autre part, à abandonner une proportion plus ou moins importante de cette huile dans les essences ou les huiles lourdes et à diminuer d'autant le rendement du produit brut.

L'ouvrier distillateur devra donc à tout instant régler la conduite de son feu sur le débit de son appareil, de manière à maintenir ce débit constant, et s'assurer, à l'aide d'un aréomètre gradué à cet effet, du degré de densité des produits condensés. La couleur peut également donner des indications assez certaines sur la marche de l'opération : dans la distillation du pétrole de Pensylvanie, par exemple, tous les hydrocarbures d'une densité inférieure à 0,720 et classés dans la catégorie des huiles légères ou essences, sont incolores; ce n'est qu'à partir de la densité de 0,750 à 0,760 environ, que le liquide commence à prendre une légère teinte jaunâtre qui, augmentant peu à peu, atteint le jaune paille lorsque l'huile arrive à 0,800. L'odeur change également de caractère à mesure que l'on approche de la fin de l'opération; mais quoique cet indice permette de reconnaître assez exactement l'état d'avancement de l'opération, il est assez difficile de définir exactement le caractère spécial qui distingue l'odeur de ces différents produits.

Conditions générales d'établissement des appareils. — Comme tous les appareils de distillation, les appareils destinés à la dis-

tillation des huiles de pétrole comprennent deux parties distinctes, — la chaudière et le condenseur, — qui peuvent affecter diverses dispositions dépendant du mode général de conduite adopté pour cette opération.

Toutefois il convient d'observer tant dans la construction de ces appareils, que dans leur installation générale, certaines conditions particulières qui, pour n'avoir pas été toujours suivies par les constructeurs, ainsi que nous le verrons plus loin, lorsque nous décrirons quelques-uns des procédés employés jusqu'à ce jour, n'en ont pas moins une grande importance, et méritent d'attirer l'attention des ingénieurs qui seraient appelés à s'occuper d'une installation de ce genre.

La grande régularité dont nous avons signalé la nécessité dans la conduite de l'opération, jointe à la condition d'obtenir toujours une distillation à la température la plus basse possible, doivent exclure l'emploi du mode de chauffage à feu nu. On devra donc en général protéger la chaudière, quelle que soit sa forme, par une voûte en maçonnerie qui la mette à l'abri du rayonnement direct du foyer, et ménager au moyen de carneaux convenablement disposés une circulation aussi complète que possible autour des différentes parties de la chaudière : on aura soin toutefois que la flamme ne dépasse jamais le niveau du liquide pendant toute la durée de la distillation des hydrocarbures correspondant aux huiles à brûler, afin d'éviter le surchauffement des vapeurs qui se dégagent.

Les huiles de pétrole, ainsi que nous l'avons vu au commencement de ce mémoire, ont un coefficient de dilatation assez considérable dont il faut tenir compte lorsque l'on calcule la capacité des chaudières de distillation, aussi bien que celles de tous les récipients destinés à les contenir et exposés à subir des variations de température quelque peu considérables.

Il importe également de disposer les appareils de distillation de manière à rendre impossibles les entraînements de la matière brute dans les condenseurs, par suite de la propriété que possèdent les huiles de pétrole, comme la plupart des composés analogues, de se boursouffler et de monter sous l'influence d'une élévation brusque de température. Les accidents de ce genre amènent nécessairement un arrêt dans l'opération et nécessitent une nouvelle distillation de l'huile obtenue à laquelle se trouve mélangée une certaine quantité d'huile à l'état brut.

En protégeant les chaudières du contact immédiat du foyer, on diminue évidemment de beaucoup les chances de soulèvement, mais on a toujours plus ou moins à craindre les coups de feu dus à la négligence du chauffeur, et le meilleur moyen d'éviter dans ce dernier cas les entraînements de liquide brut serait de donner au col de cygne une grande hauteur : cette construction a l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'une température plus élevée pour produire la distillation et de faciliter

le surchauffement des vapeurs, ce qui nuit à la bonne qualité de l'huile.

Une autre propriété des huiles de pétrole, sur laquelle il convient d'attirer tout spécialement l'attention, c'est leur grande inflammabilité. On comprend qu'il n'y ait pas de précautions inutiles quand il s'agit de la distillation d'un liquide qui non-seulement prend feu au contact d'un corps enflammé, mais *s'enflamme même spontanément* au simple contact de l'air *lorsqu'il se trouve porté à une température élevée*. La résistance des chaudières est donc une des questions les plus importantes à observer dans leur construction, puisque leur rupture en amenant le liquide qu'elles contiennent, soit au contact de l'air, soit au contact du feu, peut avoir pour résultat, l'inflammation générale de cette masse liquide et compromettre la vie des ouvriers chargés de la conduite de l'opération.

C'est en raison de ce danger que nous croyons devoir *proscrire, autant que possible*, de la construction des chaudières de distillation, l'emploi de la fonte, ce métal étant susceptible de se rompre sous l'influence d'un simple changement de température, et ne supportant d'ailleurs pas longtemps les alternatives d'échauffement et de refroidissement auxquelles les chaudières de distillation se trouvent nécessairement soumises à des intervalles de temps assez rapprochés.

La tôle, au contraire, résiste assez bien dans ces conditions, et on devra lui donner la préférence toutes les fois que la nature de l'opération à effectuer le permettra. Il est, en effet, des cas où l'usage de la fonte se trouve nécessairement indiqué, celui par exemple où il s'agit d'une distillation à siccité ; la tôle dans ces conditions ne tarderait pas à se brûler, et il faut absolument avoir recours à la fonte qui seule offre la résistance nécessaire ; mais on devra alors, autant que possible, diminuer la capacité des appareils de manière à réduire la quantité du liquide qui viendrait à s'enflammer en cas de rupture et à diminuer par conséquent d'autant l'importance du danger. Il suit de là que, lorsqu'on voudra obtenir toute la série des produits dont nous avons fait l'énumération plus haut, il conviendra de diviser l'opération en deux parties, dont l'une s'effectuera dans une chaudière en tôle et l'autre en dernier lieu dans une cornue en fonte.

La seconde partie de l'appareil de distillation, le réfrigérant, se compose généralement d'un serpentin placé dans une cuve remplie d'eau que l'on renouvelle constamment au commencement de l'opération, mais dont la température doit être maintenue entre 20 et 25° centigrades environ au moment de la distillation des huiles paraffinées, susceptibles sans cela de se solidifier dans le serpentin et de l'obstruer. Ce serpentin peut être en cuivre ou en fonte, en plomb même pour les parties submergées, et son diamètre intérieur doit varier de 0m,05 à 0m,10, suivant la capacité de la chaudière.

L'état de propreté des appareils exerçant une influence assez sérieuse sur la qualité des produits obtenus, on doit se ménager le moyen de les nettoyer après chaque opération. A cet effet, la chaudière doit être munie d'un trou d'homme donnant accès dans son intérieur, et les tuyaux de dégagement, ainsi que le serpentin, doivent pouvoir être nettoyés à l'aide d'un courant d'eau chaude ou d'un jet de vapeur.

Enfin, il reste à prendre une dernière précaution dans une installation de ce genre, celle d'isoler la chaudière des autres parties de l'appareil et surtout des réservoirs destinés à emmagasiner, soit l'huile brute, soit les liquides épurés, afin de réduire autant que possible les dommages, en cas de rupture des appareils, à la perte du liquide contenu dans les chaudières; d'ailleurs, les vapeurs de pétrole, continuellement émises par le liquide sortant des condenseurs, surtout au commencement de l'opération, se rassemblent sur le sol en vertu de leur grande densité, et nous avons eu l'occasion de voir des cas d'incendie dus à l'inflammation de ces vapeurs au contact des foyers dans des appareils où on avait négligé d'isoler les fourneaux des condenseurs. Il conviendra donc d'élever entre ces deux parties de l'appareil de distillation un mur d'une certaine épaisseur, et d'une hauteur suffisante pour qu'en cas d'incendie les flammes ne puissent traverser de l'autre côté en contournant sa crête.

Pour les mêmes raisons, on devra également fixer à l'extrémité du serpentin un tuyau vertical montant jusqu'au-dessus de la toiture du bâtiment, et qui jouera le rôle d'aspirateur à l'égard des gaz qui se dégagent pendant toute la durée de la distillation et principalement vers la fin de l'opération sous l'influence de la haute température qui tend à ce moment à décomposer les vapeurs hydrocarburées. Ce tuyau pourra déboucher directement dans l'atmosphère à une certaine hauteur au-dessus du bâtiment, ou même dans la cheminée de l'usine; dans ce dernier cas il convient de le faire arriver à une hauteur suffisante pour que les gaz ne rencontrent pas de flammèches, au contact desquelles ils puissent s'enflammer et déterminer dans certains cas une véritable explosion.

II

ÉPURATION ET TRAITEMENT DES SOUS-PRODUITS.

Redistillation des essences et des huiles. — Les produits de la distillation appartenant aux deux premières catégories (essences et huiles à brûler) doivent subir quelquefois une seconde distillation et en tous cas une épuration. La seconde distillation s'applique assez souvent aux essences que l'on peut fractionner ainsi en une nouvelle série de produits ayant chacun leur application spéciale suivant leur degré de densité. Souvent aussi, la première distillation se faisant à feu nu, il est

le surchauffement des vapeurs, ce qui nuit à l'huile.

Une autre propriété des huiles de pétrole d'attirer tout spécialement l'attention, c'est On comprend qu'il n'y ait pas de précauti la distillation d'un liquide qui non-seule corps enflammé, mais *s'enflamme même* l'air *lorsqu'il se trouve porté à une* chaudières est donc une des que dans leur construction, puisq qu'elles contiennent, soit au o avoir pour résultat, l'influ compromettre la vie des o

C'est en raison de ce d *que possible*, de la const la fonte, ce métal simple changement temps les alterna les chaudières intervalles de

La tôle, a lui donne effectue trouv lati et y

n d'en sé-
ation. Pour
allation, *sauf*
re, *opération*
taines *qualités*

faire subir aux
tement à l'acide,
re.
ation, l'acide *sulfu-*
e soude ordinaire ou la
une quantité d'eau *suffisante*
ue.
cules du carbure d'hydrogène doit être
anique qui renouvelle sans cesse les par-
cette opération, l'acide sulfurique agissant
ce son action sur les parties facilement oxydables.
une part, la production d'une certaine quantité d'acide
d'autre part, la formation d'un résidu goudronneux qui,
l'excès d'acide, se précipite au fond du récipient aussitôt que
est rétabli.
La proportion d'acide employé varie de 3 à 5 et 6 pour 100, suivant la
nature des huiles, et la perte due à cette opération varie également
dans les mêmes limites.

Le battage à l'eau alcaline a pour but de débarrasser l'huile des traces d'acide qu'elle retient après ce premier traitement; on le fait suivre d'une série de lavages à l'eau pure jusqu'à ce que l'huile ait atteint le degré de coloration voulu. Il ne reste plus alors qu'à laisser reposer la masse, pour que l'excès d'eau se dépose et que l'huile apparaisse avec toute sa limpidité et sa transparence.

Il arrive quelquefois que, pendant l'agitation de l'huile avec la solution alcaline, tout le mélange vient à se transformer subitement en une masse émulsionnée. Cet effet est généralement le résultat d'une agitation trop violente, trop prolongée, ou mal conduite; il faut alors laisser reposer le mélange ou l'agiter lentement et avec précaution en ajoutant un grand excès d'eau.

Traitement des huiles lourdes. — Les huiles lourdes peuvent être distillées de nouveau et fournir ainsi une nouvelle quantité d'huile propre à l'éclairage. La proportion d'huile lampante contenue dans les huiles lourdes peut s'estimer à 50 % en moyenne; mais la densité de cette huile est toujours plus considérable que celle des huiles de la première opération, ce qui ne permet pas d'en tirer un aussi bon parti.

de continuer la distillation des huiles brutes après en avoir
niers produits, on soumet les résidus de cette opération
composition en vase clos sous l'influence d'une haute
tient des carbures d'une densité plus faible qui, après
épuration chimique, peuvent être repassés en dis-
première et donner des produits à peu près
le brut originaire. Tel est le principe appliqué
des huiles lourdes de schiste et de pétrole, et
avec un peu plus de développements.
nant de certains pétroles peuvent être
ent comme huiles à graisser.

paraffine. — Les derniers produits liquides de
terment une proportion assez importante de cristaux
, maintenus en suspension dans la masse liquide, et que l'on
pour la fabrication des bougies de paraffine.

Il suffit, pour cela, d'exposer les huiles paraffinées à l'action du froid pendant la saison d'hiver; les cristaux de paraffine se séparent et se déposent dans le fond des récipients; on les isole par un filtrage et on les purifie à l'aide d'un série de pressions mécaniques et de cristallisations successives dans des dissolvants hydrocarburés. Hâtons-nous de dire, toutefois, que la proportion de paraffine contenue dans la plupart des huiles de pétrole est trop minime pour que les résidus de cette fabrication puissent servir de base à une préparation industrielle de cette substance, dont la plus grande partie se trouve fournie par les huiles de schiste qui en sont beaucoup plus riches. Certains pétroles en renferment cependant une quantité assez importante; à cet égard, les huiles de Rangoon sont particulièrement précieuses par la facilité avec laquelle on peut en retirer cette substance à un état de pureté assez complet. La paraffine extraite des huiles de Rangoon peut lutter comme qualité avec celle des huiles de schiste.

Utilisation des goudrons acides. — Les goudrons acides provenant de l'action de l'acide sulfurique sur les huiles de pétrole ne présentent aucune application industrielle à l'état naturel. Leurs propriétés acides et l'odeur excessivement désagréable qu'ils répandent en font un produit particulièrement gênant et dont les distillateurs de pétrole ont tout intérêt à se débarrasser. Aussi les abandonne-t-on généralement dans des fosses pratiquées à cet effet. On peut cependant en tirer parti pour la fabrication des cristaux de sulfate de fer, en les soumettant à l'action de la vapeur d'eau. On obtient ainsi, d'une part, des goudrons à peu près neutres; de l'autre, une dissolution acide très-étendue dans laquelle on jette des débris de ferraille.

avantageux de distiller de nouveau les essences à la vapeur afin d'en séparer les parties plus denses entraînées à la première opération. Pour l'huile à brûler on se contente généralement d'une seule distillation, sauf quelques cas particuliers où les produits de cette première opération ne seraient pas suffisamment épurés, ce qui arrive pour certaines qualités de pétrole brut.

Épuration chimique. — La dernière opération à faire subir aux huiles d'éclairage et aux essences est toujours un traitement à l'acide, suivi d'un lavage à l'eau alcaline et enfin à l'eau claire.

Les réactifs employés sont, pour la première opération, l'acide *sulfurique* à 66°; pour la seconde, le carbonate de soude ordinaire ou la lessive caustique à 36°, à laquelle on ajoute une quantité d'eau *suffisante* pour former une dissolution très-étendue.

L'action de l'acide sur les molécules du carbure d'hydrogène doit être activée par une agitation mécanique qui renouvelle sans cesse les parties en contact. Pendant cette opération, l'acide sulfurique agissant comme oxydant, exerce son action sur les parties facilement oxydables. Il en résulte, d'une part, la production d'une certaine quantité d'acide sulfureux; d'autre part, la formation d'un résidu goudronneux qui, mélangé à l'excès d'acide, se précipite au fond du récipient aussitôt que le repos est rétabli.

La proportion d'acide employé varie de 3 à 5 et 6 pour 100, suivant la nature des huiles, et la perte due à cette opération varie également dans les mêmes limites.

Le battage à l'eau alcaline a pour but de débarrasser l'huile des traces d'acide qu'elle retient après ce premier traitement; on le fait suivre d'une série de lavages à l'eau pure jusqu'à ce que l'huile ait atteint le degré de coloration voulu. Il ne reste plus alors qu'à laisser reposer la masse, pour que l'excès d'eau se dépose et que l'huile apparaisse avec toute sa limpidité et sa transparence.

Il arrive quelquefois que, pendant l'agitation de l'huile avec la solution alcaline, tout le mélange vient à se transformer subitement en une masse émulsionnée. Cet effet est généralement le résultat d'une agitation trop violente, trop prolongée, ou mal conduite; il faut alors laisser reposer le mélange ou l'agiter lentement et avec précaution en ajoutant un grand excès d'eau.

Traitement des huiles lourdes. — Les huiles lourdes peuvent être distillées de nouveau et fournir ainsi une nouvelle quantité d'huile propre à l'éclairage. La proportion d'huile lampante contenue dans les huiles lourdes peut s'estimer à 50 %, en moyenne; mais la densité de cette huile est toujours plus considérable que celle des huiles de la première opération, ce qui ne permet pas d'en tirer un aussi bon par-

Si, au lieu de continuer la distillation des huiles brutes après en avoir extrait les premiers produits, on soumet les résidus de cette opération à une sorte de décomposition en vase clos sous l'influence d'une haute température, on obtient des carbures d'une densité plus faible qui, après avoir été soumis à une épuration chimique, peuvent être repassés en distillation comme matière première et donner des produits à peu près analogues à ceux du pétrole brut originaire. Tel est le principe appliqué par M. Martin au traitement des huiles lourdes de schiste et de pétrole, et dont nous parlerons plus loin avec un peu plus de développements.

Quelques huiles lourdes provenant de certains pétroles peuvent être également employées directement comme huiles à graisser.

Extraction de la paraffine. — Les derniers produits liquides de la distillation renferment une proportion assez importante de cristaux de paraffine, maintenus en suspension dans la masse liquide, et que l'on extrait pour la fabrication des bougies de paraffine.

Il suffit, pour cela, d'exposer les huiles paraffinées à l'action du froid pendant la saison d'hiver; les cristaux de paraffine se séparent et se déposent dans le fond des récipients; on les isole par un filtrage et on les purifie à l'aide d'un série de pressions mécaniques et de cristallisations successives dans des dissolvants hydrocarburés. Hâtons-nous de dire, toutefois, que la proportion de paraffine contenue dans la plupart des huiles de pétrole est trop minime pour que les résidus de cette fabrication puissent servir de base à une préparation industrielle de cette substance, dont la plus grande partie se trouve fournie par les huiles de schiste qui en sont beaucoup plus riches. Certains pétroles en renferment cependant une quantité assez importante; à cet égard, les huiles de Rangoon sont particulièrement précieuses par la facilité avec laquelle on peut en retirer cette substance à un état de pureté assez complet. La paraffine extraite des huiles de Rangoon peut lutter comme qualité avec celle des huiles de schiste.

Utilisation des goudrons acides. — Les goudrons acides provenant de l'action de l'acide sulfurique sur les huiles de pétrole ne présentent aucune application industrielle à l'état naturel. Leurs propriétés acides et l'odeur excessivement désagréable qu'ils répandent en font un produit particulièrement gênant et dont les distillateurs de pétrole ont tout intérêt à se débarrasser. Aussi les abandonne-t-on généralement dans des fosses pratiquées à cet effet. On peut cependant en tirer parti pour la fabrication des cristaux de sulfate de fer, en les soumettant à l'action de la vapeur d'eau. On obtient ainsi, d'une part, des goudrons à peu près neutres; de l'autre, une dissolution acide très-étendue dans laquelle on jette des débris de ferraille.

II

DESCRIPTION DE QUELQUES APPAREILS EMPLOYÉS A LA DISTILLATION DES HUILES DE PÉTROLE.

Observation générale. — On peut diviser en deux classes les appareils employés à la distillation des huiles de pétrole.

A. — Les appareils intermittents, dans lesquels on ne distille à la fois qu'une quantité donnée de matière brute correspondant à la charge de la chaudière.

B. — Les appareils à alimentation continue, dans lesquels le liquide à distiller se renouvelle à mesure que la distillation s'effectue, de manière à maintenir, pendant toute la durée de l'opération, un niveau constant dans l'intérieur de la chaudière.

Nous distinguerons encore, dans les premiers, le cas où la distillation se fait d'un bout à l'autre dans le même appareil, et celui où, après avoir commencé l'opération dans une première chaudière, on la termine dans une seconde et souvent seulement dans une troisième.

Nous aurons donc à examiner successivement trois systèmes différents.

Distillation des huiles de pétrole dans une seule chaudière. — Dans ce cas, il peut arriver, soit que l'on ne pousse pas l'opération jusqu'au bout en décantant le résidu avant la fin de la distillation, soit que l'on chauffe la matière jusqu'à siccité; et dès lors il devient de toute nécessité de construire la chaudière en fonte, puisque, vers la fin de l'opération, le fond de la chaudière se trouve porté au rouge. Dans le premier cas au contraire, la tôle sera employée avec avantage.

Du moment où l'on opère par intermittence, il y aura nécessairement avantage à traiter à la fois la plus grande masse possible de liquide, puisque de cette façon on arrivera à diminuer, par rapport à la durée de l'opération, les pertes de temps nécessaires pour la mise en train et le refroidissement de la chaudière; il est à remarquer d'ailleurs que cette méthode de procéder par grandes quantités à la fois est favorable à la qualité des produits obtenus.

On comprendra d'après cela que l'on emploie encore en Angleterre et en Amérique, et que l'on ait employé en France, des chaudières d'une contenance de 13,000 litres.

Les figures 4 et 5, pl. 14, montrent l'ensemble d'une installation de ce

genre, telle qu'elle avait été établie en 1863, à Rouen, par MM. Cohen et Cie.

La chaudière, en fonte, se compose de deux parties. (Fig. 6, pl. 14 *bis*).

Le fond A de forme hémisphérique, et mesurant un diamètre intérieur de 2m,50, porte deux brides, dont l'une sert à le soutenir sur un massif en maçonnerie, l'autre à le relier au chapeau.

Ce dernier, qui a la forme d'une cloche, est muni à sa partie supérieure de deux tubulures : celle du centre étant destinée à l'introduction de la matière, l'autre servant au dégagement des vapeurs et se trouvant surmontée d'une colonne de tuyaux en fonte, à laquelle on a donné une grande hauteur afin d'empêcher l'entraînement du liquide en ébullition jusque dans le serpentin. A la partie supérieure, le tuyau de dégagement se dédouble en deux conduits aboutissant chacun à un serpentin particulier. Lorsque l'on fait passer dans un même serpentin tous les produits d'une distillation, les dernières parties fortement chargées de paraffine encrassent les parois du serpentin dont le nettoyage s'effectue alors au commencement de la distillation suivante aux dépens des premières portions d'huiles légères, que l'on est dès lors obligé de mettre de côté. En employant un double serpentin, on évite cet inconvénient; mais il est évident qu'on eût pu atteindre ce but d'une façon très-simple et plus économique par la seule addition d'un tuyau de prise de vapeur, au moyen duquel on eût pu nettoyer le serpentin après chaque opération. Avec la disposition actuelle, au moment où les huiles lourdes commencent à distiller, on dirige les vapeurs dans celui des deux serpentins destiné à les condenser, en interceptant toute communication avec le premier, qui restera ainsi toujours parfaitement nettoyé intérieurement. A cet effet, le serpentin destiné à recueillir les huiles lourdes est muni à sa partie supérieure d'un bouchon à vis situé au dessous du niveau de l'eau dans le bassin refrigérant, et au moyen duquel on peut le remplir d'eau au commencement de l'opération; son extrémité inférieure se terminant par un robinet que l'on maintient fermé à ce moment. De plus, au point de bifurcation du tuyau de dégagement, est placée une soupape qui peut venir fermer la communication avec le second serpentin. En ouvrant le robinet du premier et relevant la vis de manœuvre de cette soupape, on vide le serpentin primitivement rempli d'eau et dans lequel les vapeurs arrêtées par la soupape seront maintenant forcées de venir passer. Chacun des serpentins est composé de 10 tuyaux en fonte à brides, de 0m,10 de diamètre intérieur, coudés à angle droit et réunis entre eux par des boulons, de manière à former quatre spires superposées. Le développement total de chaque serpentin étant de 22m,50 environ, la surface de condensation mesure 7mq,07.

Les deux serpentins sont contenus dans une même bâche composée de 12 plaques en fonte boulonnées entre elles.

Au sortir des serpentins, les liquides condensés, avant de se rendre

dans les réservoirs destinés à les emmagasiner, coulent dans des bassins en fer blanc où se dépose l'eau qui accompagne toujours en plus ou moins grande quantité le pétrole brut, et que l'on fait écouler à l'aide d'un robinet placé à la partie inférieure.

Cette disposition permet également d'examiner à tout instant la nature des produits, de déterminer leur densité à l'aide d'un aréomètre et de s'assurer par là de la bonne marche de l'opération.

Pour éviter tout dégagement de gaz par l'orifice de sortie du liquide pendant la durée de l'opération, l'extrémité du serpentin est recourbée en siphon, de telle sorte que la communication avec l'atmosphère se trouve toujours interceptée par une petite couche de liquide. — Le tuyau d'échappement du gaz, avant d'aller déboucher dans la cheminée de l'usine ou dans l'atmosphère, traverse une cuve remplie d'eau, dans laquelle il fait plusieurs tours, et où viennent se condenser vers la fin de l'opération quelques hydrocarbures plus légers provenant de la décomposition des dernières vapeurs, et qui n'ont pu se liquéfier à la température plus élevée du premier condenseur.

Le chauffage de cet appareil s'effectue à feu nu, ainsi qu'on peut le voir fig. 4 et 6, pl. 14. Toute la partie inférieure de la chaudière se trouve exposée à l'action directe de la flamme qui, après avoir léché le fond de la cuve, s'échappe à l'extrémité opposée par un carneau muni d'un registre pour régler le tirage.

Pour soustraire la chaudière à l'action du courant d'air froid qui se produit au moment de l'ouverture des portes du foyer, et qui peut avoir pour conséquence d'amener, par un refroidissement brusque, la rupture de la paroi sur laquelle il vient frapper, il convient de surmonter le foyer, sur une longueur de 5 à 6 décimètres, d'une voûte en briques qui force l'air à se rabattre sur la grille et à s'échauffer avant d'entrer dans l'intérieur du fourneau.

Toute la partie de la chaudière située au-dessus du joint, et qui vers la fin de l'opération se trouve complètement vide de liquide, est soustraite à l'action des gaz chauds et simplement revêtue d'une enveloppe en maçonnerie qui s'oppose au rayonnement. Une enveloppe semblable entoure sur toute sa hauteur la colonne des tuyaux de dégagement.

L'ensemble de cet appareil occupe, ainsi qu'on peut le voir sur les fig. 4 et 5, pl. 14, une place considérable. Ses grandes dimensions en rendent le montage très-long et très-dispendieux.

Avant d'entrer dans les détails de la conduite de l'opération, nous donnerons encore les poids des diverses parties de cet appareil.

Poids d'un appareil de distillation d'une contenance de 13,000 *litres.*

Chaudière.	Cuve	4300 kilos.
	Chapeau	4200 —
	Tuyaux de dégagement	1130 —
	Serpentins	1155 —
	Cuve du réfrigérant	2215 —
	Total	13000 kilos.

Conduite de l'opération. — L'huile brute est introduite dans la chaudière à l'aide d'une pompe foulante dont le tuyau de refoulement vient aboutir au-dessus de l'orifice central. La chaudière étant pleine jusqu'à 0m,60 environ au-dessous de la partie supérieure du chapeau, on ferme l'ouverture à l'aide d'un couvercle maintenu par des boulons et on allume le feu. Au bout de quelques heures, le commencement de la distillation s'annonce par l'apparition des parties les plus légères. La durée totale d'une opération est d'environ trois ou quatre jours. Ce n'est guère que 24 heures après la mise au feu, que les produits accusent une densité suffisante pour être considérés comme huile d'éclairage. Incolore d'abord, le liquide recueilli se teinte de plus en plus à mesure que l'on approche de la fin de l'opération ; aussitôt que la couleur atteint le jaune d'or et que l'aréomètre accuse une densité de 0,820 environ, l'ouvrier chargé de la conduite de l'opération ouvre le robinet du second serpentin ; l'eau qui le remplissait s'écoule en entraînant avec elle les matières qui adhéraient à ses parois, et il ne reste plus qu'à lever la soupape pour changer la direction des vapeurs et les forcer à passer dans le second serpentin, à l'extrémité duquel on recueille les huiles lourdes de plus en plus chargées de paraffine. A ce moment, il convient également de faire cesser l'arrivée du courant d'eau froide dans les bassins réfrigérants, la paraffine se solidifiant à une température de 16 à 20° centigrades, et il devient même quelquefois nécessaire, lorsque pendant l'hiver le froid est rigoureux, d'échauffer cette eau à l'aide d'un jet de vapeur.

A partir de cet instant, la matière qui s'écoule du serpentin s'épaissit de plus en plus, et quelques heures après, la distillation s'arrête complément ; le chauffeur laisse alors tomber son feu, ferme les portes du foyer, abaisse le registre, et abandonne l'appareil à un refroidissement lent pendant 24 heures au moins. Au bout de ce temps, on ouvre de nouveau les portes du foyer pour nettoyer la grille, et l'on enlève le couvercle de la chaudière, qu'on laisse ainsi à découvert jusqu'à ce que la température intérieure soit descendue à 40° environ ; puis un ouvrier descend au fond de l'appareil à l'aide d'une échelle, et armé d'un pic, il enlève la couche de coke déposée au fond de la cuve sur une épaisseur qui atteint jusqu'à 0m,25 et quelquefois plus vers le centre. Ce coke est mis de côté et mélangé au combustible de l'opération suivante. Ainsi nettoyée, la

chaudière est de nouveau prête à recevoir une nouvelle charge de matière brute.

La consommation de combustible par chaudière, pour une opération, est de 2,500 à 3,000 kilogrammes, ce qui, en tenant compte de la capacité de la chaudière, représente une consommation de 20 à 25 pour 100, par rapport à la quantité de pétrole brut mis en traitement.

Quelles que soient les précautions prises pour éviter toute imprudence de la part des ouvriers chargés de cet opération, on comprend facilement, d'après la description qui précède, que l'emploi d'appareils de cette espèce soit loin d'offrir une grande sécurité. Sans parler des difficultés de fabrication que présente une chaudière de cette dimension, et particulièrement de la difficulté d'obtenir une pièce parfaitement saine et d'une texture bien homogène, eu égard à la faible épaisseur relative des parois, la nature du travail auquel il se trouve soumis doit nécessairement amener une prompte altération dans la texture du métal et l'exposer à de fréquentes ruptures.

Exposé à l'action directe d'un foyer ardent pendant trois ou quatre jours, le fond de la chaudière arrive au rouge sombre vers la fin de chaque opération. Aussi ne résiste-t-il pas longtemps à ces alternatives de chauffage et de refroidissement; peu à peu il se déforme en s'allongeant de plusieurs centimètres, et finit toujours par être brûlé et déchiré après une période de quelques mois. Quelquefois même il se déclare des fissures dès la seconde ou la troisième opération; et si l'on songe que l'enlèvement et le remplacement d'une de ces cuves exigent une dépense de 600 fr. en main-d'œuvre et menus frais seulement, on comprendra que les avantages que peut présenter ce mode de fabrication se trouvent amplement compensés par l'importance des frais d'entretien et les nombreuses chances d'accident auxquelles on se trouve incessamment exposé, *et qui doivent en faire proscrire l'emploi.*

Aussi dans la plupart des usines, où l'on suit le même mode d'opération, fait-on généralement usage de cornues en fonte, de la même forme que les précédentes, mais d'une contenance de 2 à 3,000 litres au plus. Dans ce cas, la chaudière est généralement fondue d'une seule pièce; les frais d'installation se trouvent beaucoup réduits, et en cas d'accident, le danger est comparativement moindre qu'avec les appareils précédents. Mais ce danger existe toujours, car il provient non-seulement de la forme des appareils et de la nature du métal employé à leur construction, mais encore et surtout de la méthode suivie pour la distillation.

Distillation du pétrole brut en plusieurs opérations successives. — On peut éviter en grande partie les inconvénients que nous venons de signaler en substituant à une chaudière unique deux ou trois appareils ayant chacun leur destination spéciale. On distingue en effet,

dans l'opération, trois phases correspondant aux trois produits principaux de la distillation :

1° Distillation des huiles légères ou essences;
2° Distillation des huiles d'éclairage;
3° Distillation des huiles lourdes et paraffinées.

Chacune de ces opérations partielles demande une température différente, croissant depuis le commencement jusqu'à la fin, et l'observation de cette division permet de mieux approprier les appareils à leur destination spéciale.

La substitution de deux ou trois chaudières à une seule aura pour avantage de réduire leur capacité, et par cela même de diminuer l'importance du danger en cas d'accident et la valeur des frais en cas de réparation. Enfin, soit que la première et la seconde opération se fassent dans la même chaudière, soit que l'on dédouble encore ce premier appareil, l'opération dans les deux cas ne consistera que dans la distillation d'une partie seulement du liquide contenu dans la chaudière; jamais on ne sera forcé d'évaporer jusqu'à siccité, et rien n'empêchera par conséquent de substituer la tôle à la fonte dans la construction des chaudières pour les garantir contre les ruptures et prévenir ainsi les dangers inhérents aux appareils que nous avons décrits précédemment. Ce n'est pas à dire que cette précaution ait été toujours observée, mais on ne saurait trop la recommander, et lorsque rien ne vient nécessiter l'emploi de la fonte, c'est un devoir pour le constructeur d'assurer la sécurité et la durée de ses appareils en faisant usage de la tôle.

Ainsi que nous le disions tout à l'heure, la distillation de l'essence et des huiles d'éclairage peut se faire dans une même chaudière. D'autres fois on attribue à chacune de ces opérations un appareil distinct, et ce procédé a l'avantage de permettre l'emploi de la vapeur pour la distillation des huiles légères dont le point d'ébullition ne dépasse pas 120° environ.

L'application de la vapeur à la distillation des huiles légères assure la régularité de l'opération, et met l'appareil à l'abri du danger d'incendie en supprimant tout contact entre le foyer et la chaudière; ces avantages recommandent suffisamment d'eux-mêmes le procédé en question pour qu'il n'y ait pas besoin d'y insister plus longuement.

Le point d'ébullition des huiles légères variant de 30 à 120° environ, il suffira de disposer d'une pression de 3 à 4 atmosphères pour pouvoir extraire d'une huile brute quelconque toutes les parties légères. Mais ce mode de distillation exigeant comme on le sait une quantité considérable de vapeur, il convient de ne pas donner à l'appareil de trop grandes dimensions. La quantité d'huiles légères à distiller ne dépasse d'ailleurs pas 10 à 15 °/₀ en général du poids de matières brutes, ce qui rend l'opération très-courte, d'autant plus que la température à laquelle on

opère, étant relativement peu élevée, on ne perd que peu de temps pour chauffer et refroidir l'appareil; en traitant à la fois 500 à 1,000 litres seulement, ou peut facilement faire une opération par heure, et désessencier, par conséquent, 5 à 10,000 litres de pétrole brut par jour à l'aide d'un seul appareil, ce qui correspond à une fabrication déjà importante.

La seconde opération, dont le but sera d'extraire, du pétrole privé de son essence, les hydrocarbures d'une densité inférieure à 0,810 ou 0,820, ne pourra plus se faire à la vapeur; car la température finale atteint 200 à 250° correspondant à une pression effective de 15 à 40 atmosphères, ce qui élèverait la pression dans la chaudière à vapeur à un degré inusité jusqu'ici dans les applications industrielles, à moins d'avoir recours à l'emploi de la vapeur surchauffée.

Quoi qu'il en soit, nous supposerons, ainsi que cela se passe généralement, qu'on effectue cette seconde opération dans des chaudières chauffées par des foyers directs. On emploie alors soit une cornue verticale, en fonte, soit une chaudière cylindrique horizontale en tôle, d'une contenance de 2 à 3000 litres environ. L'usage de la fonte a moins d'inconvénients ici, puisque la distillation est plus régulière et que la chaudière ne se trouve pas exposée à des différences de températures aussi considérables que dans la première méthode de distillation; toutefois la chaudière en tôle est encore préférable, et il n'y a en faveur de la fonte aucune considération qui puisse en faire préconiser l'emploi. La forme cylindrique de la chaudière en tôle est également préférable à celle de la cornue verticale, puisqu'elle augmente la surface d'évaporation et permet de donner plus de développement à la surface de chauffe. De toute façon, il convient d'observer dans la construction de ces appareils les conditions essentielles suivantes :

1° Fixer à la partie inférieure de la chaudière un tuyau de vidange muni d'un robinet en bronze ou d'une soupape, pour extraire les résidus de la distillation (huiles lourdes);

2° Protéger le fond de la chaudière du contact direct du foyer par une voûte en briques réfractaires;

3° Disposer les carneaux du fourneau de manière à ce que le niveau du liquide, à la fin de l'opération, ne descende jamais au-dessous du ciel de ces mêmes carneaux.

Les mêmes précautions, déjà précédemment indiquées, devront être suivies dans la conduite de l'opération et le chauffage des appareils. Une fois la distillation terminée, on laisse refroidir la chaudière pendant quelques heures avant de l'ouvrir, puis on enlève le couvercle du trou d'homme, et on ouvre le robinet de vidange pour faire écouler les résidus. Ceux-ci seront finalement évaporés à siccité dans un dernier appareil, qui, vu la nature de l'opération et la haute température à laquelle il sera soumis, devra se construire en fonte; on lui donnera donc les dimensions les plus faibles et la plus grande résistance, de manière à

ne jamais avoir à distiller une trop grande masse de liquide à la fois dans la cornue et à la placer, autant que possible, à l'abri des chances de rupture.

Distillation à alimentation continue. — Les méthodes que nous venons d'exposer ont l'inconvénient de ne pas pouvoir assurer une marche continue à la distillation. Cette modification, on le comprend facilement, entraînerait de grands avantages économiques; aussi a-t-elle été étudiée de plusieurs manières différentes par diverses personnes.

Parmi les divers systèmes proposés, nous signalerons celui de M. Louis Martin, dont le principe est le suivant :

Le pétrole brut, soumis à une première distillation dans une chaudière de forme quelconque, est d'abord débarrassé des produits les plus légers, puis introduit dans une chaudière de distillation en fonte ou en tôle, de forme cylindrique, dans laquelle l'alimentation se fait automatiquement d'une manière continue, de façon à y maintenir toujours un niveau constant pendant toute la durée de l'opération. On comprend que peu à peu, les parties les plus légères entrant en distillation les premières, il arrive un moment où la densité du liquide brut dans la chaudière (allant toujours en augmentant) atteigne un point tel que les produits de la distillation ne soient plus que des huiles lourdes; à ce moment il conviendra d'arrêter l'opération. On laissera refroidir la chaudière pendant quelques heures, et on décantera le résidu au moyen d'un robinet de vidange. Ce résidu goudronneux, composé d'hydrocarbures lourds, d'une densité moyenne de 0,890 environ, est soumis à une décomposition partielle à haute température, dans des cornues en fonte chauffées au rouge. Sous l'influence de la chaleur intense du milieu dans lequel ils arrivent peu à peu, ces hydrocarbures se dédoublent en hydrocarbures plus légers, dont les uns s'échappent à l'état gazeux et les autres se condensent dans un serpentin, en donnant un nouveau produit dont la densité ne dépasse plus 0,830, et que l'on mélange ensuite avec les huiles brutes *désessenciées*, ou que l'on traite séparément dans les chaudières de distillation. Dans les cornues on recueille comme dernier produit une certaine quantité de coke.

La division du traitement en trois opérations distinctes permet, comme dans la méthode précédente, d'appliquer à la distillation des essences le chauffage à la vapeur; mais le procédé en question présente en outre les avantages suivants :

— Le principe de l'alimentation continue permet de diminuer beaucoup les dimensions des chaudières, relativement à la quantité de matière brute travaillée, pendant la durée de l'opération.

— La régularité de la température, à laquelle on doit maintenir le liquide en ébullition, préserve les appareils d'une détérioration trop prompte.

— Le niveau restant toujours le même dans les chaudières, rien n'empêche de donner à la surface de chauffe le plus grand développement possible.

Aussi entrerons-nous dans quelques détails sur la construction de ces appareils et la conduite de l'opération, en prenant pour exemple ceux qui se trouvent établis dans l'usine de la Société *la Luciline*, à Rouen.

La figure 7, pl. 15, représente en coupe une chaudière à distiller les essences à l'aide de la vapeur.

Le corps de la chaudière est en tôle de fer, et renferme un serpentin en cuivre de $0^m,040$ de diamètre intérieur, dont le développement atteint 8 à 9 mètres environ.

Un trou d'homme ménagé dans le couvercle permet de nettoyer l'appareil, après un certain nombre d'opérations.

Le liquide brut arrive dans l'intérieur de la chaudière par le tuyau *T*, muni d'un robinet. Un tuyau de vidange T' sert à faire passer le liquide désessencié dans un réservoir inférieur, d'où on le distribue ensuite dans les chaudières de distillation. Les vapeurs d'essences se condensent dans un serpentin en cuivre ou en plomb S, qui doit être constamment maintenu à une température aussi basse que possible, si l'on tient à recueillir les parties les plus légères dont le point d'ébullition ne dépasse pas 30°, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de l'indiquer.

La charge de cet appareil est de 5 à 600 litres, et il suffit d'une demi-heure environ pour en extraire 10 à 12 pour 100 d'hydrocarbures légers dont la densité varie de 0,650 à 0,710, en se servant de vapeur à la pression de 6 à 7 atmosphères.

En tenant compte du temps nécessaire pour vider et remplir l'appareil, on peut fixer à 10 le nombre des opérations qu'il est possible d'effectuer dans une journée, et qui représente une consommation de 5 à 6000 litres de pétrole brut.

On pourrait encore augmenter le rendement de cet appareil en y appliquant le principe de l'alimentation continue; seulement, comme la proportion de liquide à extraire, dans cette première opération, est relativement faible, la distillation s'arrêterait bientôt si l'on ne faisait écouler les parties les plus lourdes à mesure que le liquide se renouvelle; pour cela, il suffit d'ajouter au tuyau de vidange un serpentin plongeant dans un bac réfrigérant, de manière à refroidir suffisamment le liquide à sa sortie de la chaudière. En réglant convenablement alors les deux robinets d'entrée et de sortie on arrive à obtenir une marche continue et régulière.

Toutefois, l'augmentation de rendement qui résulte de cette modification n'est pas aussi importante qu'on pourrait le croire au premier abord. On est obligé, en effet, dans ce dernier cas, de conduire l'opération avec plus de lenteur; sans cette précaution on s'exposerait à ne pa

extraire la totalité des huiles légères et à obtenir par suite des huiles d'éclairage d'une densité trop faible, et il suit de là que la diminution du débit compense en partie le temps gagné par la suppression des moments d'arrêt. Une autre difficulté se présente lorsqu'on doit travailler successivement des pétroles bruts de qualités différentes; il faut alors à chaque nouveau changement régler l'ouverture des robinets et le débit de l'appareil suivant la proportion d'essence contenue dans la matière brute. Avec la première méthode, au contraire, il suffit d'avoir déterminé une fois pour toutes la pression à laquelle il faut employer la vapeur pour enlever tous les hydrocarbures d'un point d'ébullition inférieur à une température donnée, et quelle que soit alors la nature du pétrole employé, on sera toujours certain qu'aucun de ces hydrocarbures ne restera dans le produit décanté, pour peu que l'on ait eu soin de prolonger l'action de la vapeur jusqu'à ce que la distillation s'arrête d'elle-même.

L'opération continue ne nous paraît donc utilement applicable à la distillation des essences que dans le cas d'une installation importante, où la régularité et l'uniformité du service sont une des conditions essentielles du succès de l'ensemble.

Les chaudières à distiller avaient d'abord été construites par M. Martin; en fonte, parce qu'au lieu de décanter le liquide après sa concentration complète, il se contentait à ce moment d'arrêter l'alimentation et distillait le résidu à sec dans la même chaudière. Mais nous ne nous arrêterons pas ici à cette disposition, à laquelle il est bien préférable de substituer les chaudières en tôle en séparant l'opération en deux parties, exécutées chacune dans un appareil spécial.

Les chaudières de distillation (fig. 8, 9, 10 et 11, pl. 15) ont un diamètre de $1^m,20$ sur une longueur de $2^m,50$, et contiennent environ 2000 litres de liquide. Le niveau restant toujours le même pendant toute la durée de l'opération, et la distillation ne produisant pas plus de 20 à 30 litres d'huile à l'heure, il suit de là qu'une fois la masse échauffée, une chaleur très-peu considérable suffit pour maintenir l'ébullition et échauffer la petite quantité de liquide qui entre constamment dans la chaudière. Pour la même raison, il est nécessaire que la température ne monte jamais d'une manière brusque, car le moindre coup de feu produirait une violente ébullition et occasionnerait l'entraînement de la matière brute dans les appareils de condensation.

Aussi doit-on soustraire la chaudière à l'action directe du foyer en la protégeant par une voûte, ainsi qu'on peut le voir sur les figures 10 et 11 qui représentent en coupe un fourneau et ses chaudières.

Les produits de la combustion, après avoir parcouru sous cette voûte toute la longueur du fourneau, reviennent sur le devant par deux carneaux latéraux, et sont ramenés à l'arrière par deux autres conduits aboutissant à des cheminées munies de registres pour régler le tirage.

Il est bien entendu que le niveau du ciel des carneaux supérieurs est

déterminé de manière à rester toujours en-dessous de la ligne du niveau du liquide.

L'appareil d'alimentation A est la partie la plus intéressante de tout le système. Il se compose d'un petit bassin en tôle de $0^m,60$ sur $0^m,40$, muni d'un robinet à flotteur et communiquant avec chacune des chaudières par un tube en fer, portant un robinet au moyen duquel on peut régler l'alimentation.

Le bac est alimenté lui-même par un réservoir supérieur B, et l'on comprend que, grâce au flotteur qui commande la clef du robinet de communication, le niveau du liquide dans ce bassin doive rester toujours constant. Il suffira donc de fixer ce niveau à une certaine hauteur au-dessus de celui du liquide dans les chaudières, pour que la différence de ces niveaux fasse équilibre à la contre-pression des vapeurs qui se dégagent de la masse en ébullition, et que rien n'empêche *le liquide* du bac de pénétrer en vertu de son propre poids dans l'intérieur de la chaudière, à mesure que le niveau tend à baisser dans cette dernière.

Les appareils de condensation ne présentent aucune disposition particulière. La hauteur du col de cygne se trouve réduite autant que possible pour faciliter le dégagement des vapeurs.

Nous ajouterons quelques mots sur la conduite de l'opération.

Après avoir rempli la chaudière de liquide brut jusqu'à une hauteur de $0^m,90$ environ, on ferme le trou d'homme et les robinets d'alimentation, et on allume le feu. Au bout d'une heure et demie environ, le liquide commence à distiller, et aussitôt qu'on en a recueilli 20 à 30 litres, on met en train l'alimentation automatique.

Si, pour une cause quelconque, ouverture trop grande du robinet, ralentissement de la distillation, etc., etc., le niveau dans la chaudière vient à s'élever au lieu de demeurer constant, la pression intérieure augmente, et un courant en sens inverse se produisant de la chaudière dans le bassin, l'alimentation s'arrête, le liquide contenu dans le tube s'échauffe et finit par rentrer brusquement dans le bac d'alimentation. Il est donc important que le chauffeur vienne de temps en temps examiner la marche du flotteur et s'assurer que le niveau du liquide dans le bac ne remonte pas, sous l'influence d'un excès de contre-pression. — Dans le cas contraire, il devra immédiatement fermer le robinet d'alimentation et arrêter ainsi l'entrée du liquide dans la chaudière, jusqu'à ce que le niveau ait suffisamment baissé pour permettre la rentrée du liquide.

Pendant toute la durée de l'opération, le feu doit être entretenu avec la plus grande régularité en évitant avec soin, soit de le laisser tomber, — car, aussitôt la distillation s'arrête plus ou moins complètement, — soit de donner un coup de feu, auquel cas il est à craindre que le liquide brut ne se trouve lui-même entraîné par les vapeurs à travers du serpentin.

Aussitôt que la densité du liquide distillé atteint 0,810 à 0,820 et que sa couleur prend une teinte un peu foncée, il faut arrêter la distillation en laissant tomber le feu, après avoir fermé les robinets d'alimentation. On ferme ensuite avec soin les portes et les registres du fourneau et l'on abandonne la chaudière à elle-même pendant vingt-quatre heures au moins. Au bout de ce temps on enlève le couvercle du trou d'homme et l'on fait écouler les résidus en ouvrant le robinet de vidange. Si pour gagner du temps on voulait précipiter cette opération on s'exposerait à voir le liquide renfermé dans la chaudière s'enflammer spontanément au contact de l'air, au moment où l'on viendrait à ouvrir le trou d'homme.

Une fois la chaudière vidée et suffisamment refroidie, on procède à son nettoyage ; un homme descend à l'intérieur, essuie les parois avec une éponge et termine le nettoyage avec un tampon de chiffons. Il est très-important que cette opération soit faite avec le plus grand soin, si l'on veut obtenir des produits de belle qualité à la distillation suivante.

Quelles que soient les précautions qu'il est nécessaire d'observer dans la conduite de ce travail, un seul homme peut parfaitement conduire cinq ou six chaudières de cette espèce, réunies dans un même massif ou divisées en deux groupes, alimentés chacun par un bassin spécial.

La durée d'une opération ne peut guère dépasser six jours. Nous avons eu l'occasion d'aller jusqu'à sept, mais les résultats ne sont pas avantageux, et nous pensons que dans le cas de pétroles de Pensylvanie, desquels on a déjà retiré 10 à 12 pour 100 d'huiles légères par une première opération, il faut s'en tenir à une moyenne de cinq à six jours, sans dépasser jamais ce dernier chiffre. Chaque chaudière pourra donc fournir dans une seule opération 3,600 litres d'huile d'éclairage, en admettant que la production soit de 30 litres à l'heure. En tenant compte du temps nécessaire au refroidissement, à la vidange, au nettoyage et à la mise en feu, on ne peut guère compter faire plus de cinq opérations par mois dans la même chaudière, ce qui représente un rendement mensuel de 21,000 litres. On pourrait, dans certains cas, sans inconvénients augmenter et même doubler cette production en faisant distiller à l'appareil 40, 50 ou même 60 litres à l'heure; mais ce résultat ne s'obtiendra le plus souvent qu'aux dépens de la bonne qualité de l'huile distillée.

La dépense de combustible de ces appareils peut être estimée à 18 pour 100 de la quantité de matière brute employée.

La troisième opération, dans laquelle on distille les résidus de la seconde opération, exige l'emploi de cornues en fonte. (Fig. 12, 13, 14 et 15, pl. 15.)

La figure 14 donne la coupe d'un fourneau contenant deux cornues chauffées par un même foyer. Cette disposition économique, au

point de vue du chauffage, présente cependant de grands inconvénients. Qu'une cornue vienne à casser ou qu'un joint vienne simplement à fuir, il faut nécessairement arrêter les deux appareils conjugués. Il est donc préférable de les placer chacun sur un foyer particulier, ou de disposer le fourneau de manière à pouvoir au besoin les isoler. Dans ce dernier cas, on pourrait avec avantage placer un plus grand nombre de cornues dans un même fourneau, de manière à mieux utiliser la chaleur du foyer.

Ces cornues doivent être, autant que possible, chauffées d'une manière uniforme sur toute leur longueur et leur hauteur ; car il est important d'obtenir la plus haute température possible à l'intérieur, afin de faciliter la décomposition des vapeurs hydrocarburées. Le fond se trouve protégé par une voûte, et les gaz chauds en circulant sur les côtés viennent chauffer jusqu'à la partie supérieure des cornues. Celles-ci sont en fonte, de forme circulaire et d'un diamètre intérieur de $0^m,450$, terminées du côté du devant du fourneau par une bride, sur laquelle on vient boulonner un obturateur; vers l'autre extrémité se trouve une tubulure recevant un col de cygne également en fonte. A $0^m,60$ environ de l'ouverture, une seconde tubulure de petit diamètre reçoit l'extrémité du tuyau d'alimentation A.

L'alimentation se fait également d'une manière continue, soit au moyen d'un tube en siphon terminé par un entonnoir dans lequel vient tomber le liquide, soit à l'aide d'un bac avec robinet à flotteur, analogue à celui que nous avons décrit précédemment.

La condensation des vapeurs s'effectue dans un serpentin ordinaire en plomb, ou mieux en cuivre, de $0^m,050$ de diamètre intérieur, plongeant dans une cuve pleine d'eau.

L'emploi d'un seul réfrigérant, pour deux cornues, offre également des inconvénients; il devient impossible de cette façon de contrôler, par le débit, la marche particulière de chacune des cornues, et il arrive fréquemment que, pour une cause quelconque, l'une d'elles vienne à se échauffer plus que l'autre, il se produise entre elles un courant de vapeurs et quelquefois même un entraînement de liquide de l'une dans l'autre, qui trouble l'opération et en compromet plus ou moins complétement la marche. On devrait donc toujours munir chaque cornue d'un condenseur spécial.

La distillation des résidus dans les cornues est une opération fort délicate, et sur laquelle nous appellerons tout particulièrement l'attention.

Après avoir formé la cornue avec l'obturateur, on introduit 4 à 5 centimètres de hauteur de liquide et on allume le feu, que l'on pousse vivement, de manière à porter la cornue au rouge vif. Aussitôt que la distillation commence et que l'on a recueilli 15 ou 20 litres de liquide, on met en train l'alimentation. Cette alimentation peut s'effectuer soit à

moyen du bassin à flotteur décrit plus haut, soit à l'aide de tubes à siphon, en se réglant sur le débit du robinet qui vient déboucher dans l'entonnoir; dans ce dernier cas, il faut veiller constamment à ce que le liquide ne déborde pas, et ne vienne pas à se répandre sur le fourneau. Ces tubes en S ont l'inconvénient de s'obstruer facilement; il sera donc convenable de les munir d'un robinet qui permette au besoin d'interrompre momentanément la communication avec la cornue et de les composer de parties rectilignes faciles à nettoyer.

Il convient de ne pas marcher à plus de 15 à 20 litres à l'heure environ. En pressant l'opération, on n'atteint pas le but que l'on se propose, en ce sens que le liquide distille simplement, sans que les vapeurs émises se décomposent, et les produits obtenus sont alors trop lourds. On veillera donc avec soin à ce que la densité se maintienne entre 0,820 et 0,830 au plus, et si le liquide a de la tendance à devenir plus lourd, il faudra modérer l'alimentation ou l'arrêter même complétement pendant quelques instants et laisser tomber momentanément le feu. Aussitôt que, néanmoins, la densité atteint 0,840, il convient de terminer l'opération en arrêtant l'alimentation et poussant activement le feu de manière à distiller à sec le liquide restant dans la cornue. On laisse ensuite refroidir la cornue en tenant bien closes toutes les ouvertures du fourneau, afin d'éviter les refroidissements brusques qui pourraient en occasionner la rupture.

Au bout de vingt-quatre heures, on retire l'obturateur et on enlève la couche de coke adhérente aux parois.

Une cornue bien établie et bien conduite peut durer plusieurs années.

Nous avons essayé de remplacer ces cornues circulaires de $0^m,450$ de diamètre par des cornues plus petites ($0^m,350$ environ) à fond plat, en forme de D, mais le résultat n'a pas été aussi satisfaisant. Nous pensons donc qu'il convient de conserver la forme que nous venons d'indiquer, en y apportant toutefois le changement suivant adopté déjà depuis longtemps par plusieurs distillateurs. L'obturateur est remplacé par une tête de cornue en fonte, boulonnée sur le corps de la cornue et présentant elle-même vers la partie inférieure une ouverture de petit diamètre, plus facile à fermer. Cette partie de la cornue étant située hors du fourneau, à l'abri du contact de la flamme, ne subira pas d'altération sensible et pourra, en cas de rupture de la cornue, servir de nouveau pour celle qui la remplacera.

La quantité totale de combustible employé dans cette série d'opérations s'élève à 25 ou 30 % environ du poids du pétrole brut.

On arriverait à prolonger sensiblement la durée du travail des chaudières en leur appliquant la disposition que nous avons indiquée en parlant de la distillation des essences. En faisant évacuer, en effet, les huiles lourdes à la partie inférieure, pendant que l'on continuerait à in-

duire d'autre part une quantité toujours nouvelle de matière brute, on pourrait arriver, au bout d'un certain temps, à établir entre l'entrée et la sortie du liquide un rapport tel que, pendant un temps donné, la quantité d'hydrocarbures volatilisés correspondît exactement à la proportion d'huile d'éclairage contenue dans le liquide introduit, tandis que le complément serait, pendant ce même temps, évacué constamment au moyen du robinet de vidange. Ce résultat étant atteint, la distillation pourrait se continuer ainsi pendant très-longtemps sans inconvénient. Cette installation nécessiterait toutefois une grande dépense d'eau pour arriver à refroidir d'une manière suffisante les huiles lourdes extraites de la chaudière à une température de 200 à 250° environ, mais elle présenterait incontestablement de grands avantages, et, à ce titre, il serait intéressant d'en faire l'essai.

Appareils à double distillation. — Les huiles d'éclairage, obtenues par une première distillation, gagneraient certainement beaucoup en aspect et en qualité si on les soumettait toujours à une seconde distillation. Mais, quels que soient les avantages qu'en pourrait retirer le fabricant, l'augmentation des frais de main-d'œuvre et de combustible et la perte de matière qui en résultent sont des obstacles qui s'opposent à son emploi, toutes les fois que la nature même des huiles n'exige pas impérieusement cette seconde opération. C'est afin de faciliter et de généraliser cette rectification que l'on a imaginé plusieurs dispositions d'appareils dans lesquels cette rectification s'effectue simultanément avec la première distillation.

Ce résultat peut être obtenu d'une manière économique, en profitant de la chaleur dégagée pendant la condensation des vapeurs provenant de la distillation du pétrole brut pour vaporiser et rectifier les produits de l'opération précédente.

On peut encore profiter avec avantage de la chaleur perdue dans la plupart des fourneaux de distillation pour ajouter une seconde chaudière à la suite de la première, sans qu'il en résulte une augmentation bien sensible dans la consommation du combustible. Il n'en est pas de même dans la disposition qui consiste à diviser la chaudière de distillation en deux parties par une cloison horizontale, et dans laquelle le liquide à rectifier placé dans le compartiment supérieur est chauffé au moyen de la vapeur dégagée par le liquide placé à la partie inférieure. Dans ce cas, on augmente réellement la masse du liquide à vaporiser sans faire varier la surface de chauffe; il en résulte nécessairement une augmentation de chaleur absorbée par mètre carré et par suite une augmentation de dépense du combustible.

Emploi de la vapeur surchauffée pour la distillation du pétrole brut. — L'application de la vapeur à la distillation des huiles

de pétrole, si facile et si avantageuse pour l'extraction et la rectification des essences, présente de sérieuses difficultés pour la distillation des huiles d'éclairage en raison de la haute température à laquelle il s'agit d'atteindre. Une pression de 40 à 50 atmosphères suffirait à peine, en effet, pour obtenir la chaleur nécessaire à la distillation des hydrocarbures dont le point d'ébullition monte jusqu'à 250° et plus. On ne peut songer à obtenir une semblable pression dans nos chaudières actuelles, et dès lors il faut avoir recours à l'emploi de la vapeur surchauffée qui présente aussi ses inconvénients.

Jusqu'ici nous n'avons pas eu connaissance d'une application industrielle de ce mode de distillation, sur les avantages duquel les avis sont encore très-partagés. M. Gardy, ingénieur des arts et manufactures et directeur d'une fabrique de produits chimiques en Suisse, nous a dit avoir appliqué la vapeur surchauffée, sans succès, à la distillation des huiles de pétrole; il attribue toutefois ce résultat défavorable à l'imperfection des moyens de surchauffage dont il pouvait disposer. C'est, en effet, dans la construction de l'appareil surchauffeur que doit résider, croyons-nous, toute la difficulté de l'application du procédé. Il nous paraît évident qu'étant donnée une chaudière à distiller munie d'un double fond ou d'un serpentin, dans laquelle on pourra faire circuler de la vapeur à une température suffisamment élevée, on devra nécessairement obtenir une distillation très-régulière et très-facile à conduire. C'est donc vers ce côté que devront à l'avenir se diriger les essais, et il est fort probable qu'une courte pratique permettra bientôt d'apprécier les meilleures conditions qu'il convient d'observer dans la construction des appareils et la conduite de la distillation pour arriver à un résultat satisfaisant.

Récipients servant à recueillir les produits distillés. — Les produits de la distillation sont recueillis au sortir des condenseurs dans des bassines en zinc on en fer-blanc, où vient se déposer l'eau formée pendant la distillation ou mélangée au pétrole brut, et dont il est toujours difficile de le débarrasser d'une manière complète.

Ces bassines sont donc munies à la partie inférieure d'un robinet pour l'écoulement de l'eau, et portent à la partie supérieure un ajutage pour la sortie de l'huile. Afin d'éviter l'évaporation qui se produirait à la surface du liquide exposé à l'air libre, il convient de recouvrir le bassin d'un couvercle muni d'une ouverture fermée par un verre, au travers duquel on puisse surveiller la marche de l'opération.

Dans quelques usines on a l'habitude de recueillir le liquide condensé, — soit au sortir du serpentin, soit après l'avoir laissé séjourner dans des récipients de dépôt analogues aux précédents, — dans des seaux que les ouvriers remplacent à mesure qu'ils se remplissent et qu'ils vont vider dans un réservoir commun; le nombre de seaux ainsi transportés indique

alors la production totale de la distillation. Ce système n'offre aucune garantie, aucune possibilité de contrôle. Si, pendant les heures de la nuit où la surveillance est plus difficile à exercer, les ouvriers négligent de veiller d'une manière attentive à la conduite de leurs appareils, les seaux peuvent se remplir, déborder et laisser le liquide se répandre sur le sol. Supposons, au contraire, que la tubulure supérieure de la bassine de dépôt vienne déboucher dans un entonnoir fixe communiquant lui-même avec un réservoir inférieur dans lequel viendra se rendre tout le liquide distillé, on sera certain qu'il ne pourra y avoir de pertes, quelle que soit la négligence de l'ouvrier. En faisant arriver le liquide dans des réservoirs de capacité connue, munis d'un flotteur-indicateur de niveau, on obtient des indications assez exactes sur les quantités d'huile produite pendant un temps donné. Il ne faut cependant pas considérer ce moyen comme infaillible, et nous avons eu plus d'une fois l'occasion d'en reconnaître l'imperfection; les différences de température produisent des variations de niveau souvent considérables et sont une des principales causes de l'altération des indications données par les flotteurs[1]. Il serait donc utile d'adjoindre à ces appareils un compteur qui permît de contrôler ces indications.

Observations générales sur la construction, la réception et l'entretien des appareils de distillation. — La construction des chaudières de distillation en tôle ne laisse pas que de présenter certaines difficultés. La subtilité des huiles de pétrole est telle, qu'elles suintent au travers des rivures les mieux faites avec la plus grande facilité, et qu'il est excessivement difficile d'arriver à construire une chaudière dont les joints ne présentent aucune fuite. Il est donc important de supprimer, autant que possible, les joints en employant des tôles de grandes dimensions.

C'est ainsi que nous avons fait construire des chaudières de $2^m,50$ de longueur et $1^m,20$ de diamètre, en employant pour le corps de la chaudière une seule tôle de $2^m,20$ de largeur, enroulée sur elle-même et réunie à deux fonds légèrement bombés, d'une seule pièce chacun, de telle sorte que la chaudière ne présentait qu'un seul joint suivant la longueur et deux joints dans l'autre sens. Il va sans dire que tous les joints doivent être faits avec une double rivure, et convenablement mâtés en dedans et en dehors. Pour que ce travail puisse être fait avec facilité il convient d'employer des tôles d'une certaine épaisseur ($0^m,010$ environ).

Avant de monter ces chaudières sur les fourneaux, il est prudent de leur faire subir deux séries d'essais. On commencera d'abord par les

1. Ce résultat s'explique facilement lorsque l'on songe à la grande dilatabilité des huiles de pétrole en général. (Voir Ire partie, chap. Ier.)

soumettre à une pression de 2 à 3 atmosphères, comme s'il s'agissait d'un appareil destiné à supporter une pression intérieure ; on vérifiera ainsi d'une manière approximative la résistance des joints, et on marquera avec soin toutes les fuites et les suintements pour mater de nouveau les endroits défectueux ou remplacer les rivets s'il y a lieu. Après avoir essayé une seconde fois la chaudière à la presse hydraulique et s'être assuré que tous les joints se comportent bien, on placera l'appareil sur un chantier de manière à ce qu'on puisse le visiter sur toutes ses faces, et on le remplira d'huile de pétrole brute ; puis on l'abandonnera ainsi à lui-même pendant deux ou trois jours. Si, au bout de ce délai, on n'aperçoit aucune fuite ou aucune trace de suintements bien accusée autour des rivets ou suivant les lignes de recouvrement des tôles, la chaudière pourra être mise en activité sans danger. En cas contraire, on marquera les places faibles et après avoir vidé la chaudière on matera de nouveau, en répétant l'expérience autant de fois qu'il sera nécessaire pour arriver à une étanchéité complète.

Dans la construction des chaudières et cornues en fonte, de quelque forme que ce soit, il convient de donner à la partie exposée à la chaleur du foyer une épaisseur plus considérable qu'au reste de l'appareil, afin d'augmenter sa résistance. — On spécifiera également dans les conditions du marché passé avec les constructeurs :

— Que les chaudières seront coulées dans la position qu'elles doivent occuper dans le fourneau, les parties destinées à supporter l'action de la flamme se trouvant à la partie inférieure et acquérant ainsi une densité et une homogénéité plus considérables.

— Que le coulage de la fonte aura lieu également par le bas, afin de faciliter au moment de la coulée le dégagement de l'air et des gaz et éviter ainsi à la partie inférieure la formation de soufflures ou de dépressions qui compromettraient la solidité de la pièce dans les parties les plus exposées à se rompre.

La réception des cornues et chaudières en fonte doit être faite avec d'autant plus de soin et d'attention qu'il est plus difficile de se rendre un compte exact de la nature et de la qualité du métal. On les remplira également à froid d'une certaine quantité d'huile de pétrole brute, pour s'assurer qu'elles ne présentent pas de parties poreuses et de fissures au travers desquelles le liquide ne manquerait pas de suinter au bout d'un certain temps ; dans ce cas, il faut rejeter la pièce, si la partie défectueuse doit se trouver en contact avec les gaz chauds du foyer. Nous appellerons également l'attention sur les soufflures ou les diminutions d'épaisseur dissimulées souvent à l'aide de plomb fondu ou de mastic. Pour cette raison, il convient de faire la réception des pièces au sortir du moule, et avant qu'on les ait recouvertes d'une couche de peinture sous laquelle il est beaucoup plus difficile d'en reconnaître les défauts.

Les mêmes précautions doivent être observées pour la réception des tuyaux de dégagement des vapeurs.

On comprend que, eu égard aux propriétés inflammables des huiles de pétrole et à la facilité avec laquelle elles suintent au travers des joints, il soit de toute nécessité d'apporter le plus grand soin au montage des appareils de distillation.

La première précaution à prendre sera de dresser exactement toutes les surfaces des brides et en général toutes celles qui doivent venir au contact les unes des autres ; pour toutes les parties exposées à la chaleur on pourra faire usage du mastic au minium avec toile métallique, ou simplement avec mélange de chanvre haché. — On peut également se servir de mastic cerbat ou simplement d'un mélange de céruse, d'huile de lin et de peroxyde de manganèse.

Tous les joints doivent être convenablement séchés avant de commencer à distiller, afin qu'ils puissent mieux résister à l'action dissolvante des hydrocarbures liquides ou gazeux.

Pour les joints placés à l'abri d'une élévation de température, tels que ceux des tuyaux composant le serpentin, par exemple, on emploie avec succès des rondelles de carton enduites de colle forte, cette matière étant insoluble dans l'huile de pétrole.

IV

APPAREILS D'ÉPURATION.

Considérations générales. — Le principal but à réaliser dans la construction des appareils d'épuration, c'est de mélanger aussi intimement que possible les produits à épurer avec les agents chimiques employés. Ce résultat est plus difficile à obtenir qu'il ne semble devoir l'être au premier abord, vu la grande différence de densité qui existe entre les huiles minérales et les acides dont on fait usage pour leur épuration.

L'acide sulfurique, en effet, qui est le plus généralement employé à cet usage, a une densité de 1,848, tandis que celle des huiles ne dépasse pas 0,800 et que les essences n'atteignent guère plus de 0,710 à 0,720. L'opération devient beaucoup plus simple sous ce rapport dans la seconde partie du travail, alors que l'acide se trouve remplacé par une dissolution alcaline très-étendue dont la densité n'est que peu supérieure à celle de l'eau ; mais alors intervient la condition de ne pas imprimer à la masse liquide un mouvement trop violent, qui aurait pour résultat de produire une véritable émulsion, ainsi que nous l'avons déjà indiqué plus haut.

La question est donc complexe et peu d'appareils ont réalisé jusqu'ici toutes les conditions nécessaires.

Aussi, quoique le mélange des substances puisse être obtenu par un

foule de procédés divers, n'examinerons-nous ici que les plus usuels, en distinguant tout d'abord deux cas, suivant que l'agitation est obtenue par main d'homme ou par un moyen mécanique.

Lavage à la main. — L'huile, l'essence ou l'huile lourde qu'il s'agit d'épurer, sont introduits dans un bassin en fonte ou mieux en bois, ou en tôle doublé de plomb. L'emploi de la fonte présente des inconvénients, l'acide sulfurique, une fois étendu d'eau, exerçant toujours une action plus ou moins énergique sur les parois de l'appareil, et donnant ainsi naissance à des sels métalliques dont la présence est défavorable à la bonne qualité des huiles. Cette condition doit faire proscrire à plus forte raison l'usage de la tôle simple, beaucoup plus attaquable que la fonte par les acides.

Les fig. 16 et 17, pl. 14, représentent en coupe transversale et longitudinale un bassin en tôle doublé de plomb de $2^m,00$ de longueur sur $0^m,80$ de large, porté sur un support en maçonnerie. A l'une de ses extrémités le bassin est muni d'un tuyau de vidange en plomb terminé par un robinet; la contenance de ce bassin est de 2,400 litres environ.

Après avoir versé 4 à 5 p. 100 en poids d'acide sulfurique à 66°, on brasse le liquide à l'aide d'un agitateur en bois ou en tôle émaillée, pendant 20 minutes environ. On laisse reposer, on décante et on agite de nouveau en ajoutant environ 15 pour 100 d'eau alcaline, et renouvelant l'opération jusqu'à ce que l'huile ait obtenu le degré de clarté voulu.

Laveuses mécaniques. — L'application d'un procédé mécanique à l'épuration des huiles minérales présente, dans la plupart des cas, l'inconvénient d'amener une trop grande régularité dans le sens et la vitesse du mouvement des organes agitateurs; au bout de quelques instants, les liquides se trouvant animés d'un mouvement analogue ne tardent pas à se superposer par ordre de densité, et ne se trouvent plus suffisamment mélangés pour que l'épuration s'effectue dans toutes les parties de la masse.

Les *épurateurs à agitateurs* se composent d'une cuve cylindrique en fonte ou en bois doublée de plomb, placée soit verticalement, soit horizontalement, et dans laquelle se trouve monté un arbre à palettes auquel on communique un mouvement de rotation assez rapide.

Les fig. 18 et 19, pl. 14, représentent ces deux dispositions dont la première nous paraît préférable; l'une et l'autre n'offrent pas toutefois beaucoup de garanties pour l'intimité du mélange. Le choc des palettes doit avoir, en outre, pour inconvénient, de produire facilement l'émulsion de la masse au moment du lavage à l'eau alcaline.

Afin de forcer toute la masse d'huile à épurer à venir successivement en contact avec l'acide, M. Gouldie a construit à l'usine Albiona, à Birkenhead, un appareil qui peut servir de type à une seconde catégorie de

laveurs mécaniques. Il se compose d'une cuve en bois doublée de plomb, séparée en deux compartiments par une cloison qui s'arrête à quelques centimètres du fond (fig. 20, pl. 15), un peu au-dessous du niveau que doit occuper la couche d'acide. Les deux compartiments sont remplis d'huile, et dans l'un d'eux vient plonger le tuyau d'aspiration d'une pompe qui fait passer le liquide à épurer de ce premier compartiment dans le second; le niveau de l'huile montant dans ce dernier, celui de l'acide baissera en même temps jusqu'à ce qu'atteignant le bord inférieur de la cloison transversale, l'huile rentre dans le premier compartiment en passant au travers de l'acide. En continuant à pomper, on fera ainsi circuler le liquide jusqu'à épuration complète. Nous ferons toutefois remarquer que le mouvement lent du liquide doit favoriser son passage au travers de l'acide, sous forme d'une véritable *veine dont* les parties extérieures seules se trouvent en contact avec le réactif. Nous avons eu l'occasion de voir aux environs de Paris un appareil d'épuration fondé sur un principe analogue auquel nous adresserons le même reproche. Le liquide à épurer passait successivement dans une série de récipients composés chacun de deux cylindres concentriques, celui du milieu par lequel arrivait le liquide ayant une hauteur plus grande que l'autre; l'ensemble de cette installation ne diffère donc de la précédente qu'en ce que le liquide, au lieu de circuler plusieurs fois dans le même appareil, passe successivement et en vertu de son propre poids dans plusieurs récipients placés les uns au-dessus des autres.

Le tambour rotatif du capitaine Downer, employé aux États-Unis, et représenté fig. 21, pl. 14, nous paraît être d'une construction compliquée. Mais n'ayant jamais eu l'occasion de voir fonctionner cet appareil, nous nous bornerons à donner ici sa description. Il se compose d'un cylindre en tôle muni intérieurement de trois rigoles longitudinales et animé d'un mouvement continu de rotation autour de son axe. A chaque révolution, les rigoles ramassent l'acide sulfurique qui occupe la partie inférieure et le déversent ensuite au-dessus du niveau de l'huile.

La fig. 21 *bis*, pl. 14, représente en coupe un appareil épurateur dans lequel on peut traiter à la fois jusqu'à 5 à 6,000 litres d'huile distillée. Il consiste en une cuve en fonte de $2^m,56$ de diamètre intérieur, munie d'un couvercle et traversée sur toute sa hauteur par un cylindre en fonte ouvert à la partie inférieure. La ligne *a b* indique le niveau de l'huile. Une vis d'Archimède, animée d'un mouvement de rotation très-rapide, fait monter l'huile et ensuite le mélange d'huile et d'acide dans l'intérieur du cylindre pour le déverser à la partie supérieure au travers d'une série de trous *e e* percés dans son pourtour.

Nous avons obtenu de bons résultats avec l'appareil précédent qui se trouve également employé en Écosse.

L'ensemble de l'installation comprend deux cuves semblables dans

les vis sont commandées par un même arbre. L'huile à épurer arrive à l'aide d'un tuyau de refoulement dans l'appareil supérieur où s'effectue le traitement à l'acide. Le battage dure une heure et demie environ, la vis étant animée pendant ce temps d'une vitesse de 2 à 300 tours par minute. On laisse ensuite reposer le liquide pendant trois quarts d'heure, on décante les goudrons acides, et l'on fait passer l'huile dans le second épurateur en ouvrant le robinet de communication. Le battage à l'eau alcaline dure environ vingt minutes ; l'opération demande à être surveillée avec soin, car il convient de pouvoir arrêter immédiatement le battage si la masse vient à s'émulsionner. Dans ce cas, il faut laisser reposer le mélange en y ajoutant une certaine quantité d'eau pure, et il est rare qu'au bout de quelques heures le liquide n'ait pas repris sa fluidité. — Après avoir terminé l'opération par le lavage à l'eau pure, on fait passer l'huile dans les bassins de repos.

Bassins de repos. — Ces bassins peuvent être construits en tôle et mieux en tôle galvanisée ou en zinc, si leurs dimensions ne sont pas trop considérables. La tôle s'oxyde facilement au contact des huiles minérales, non-seulement après leur épuration, mais déjà après simple distillation. Une croûte épaisse de rouille ne tarde pas à se former sur les parois de ces réservoirs et à communiquer au liquide une coloration anormale. Aussi faut-il avoir soin de les nettoyer le plus souvent possible et d'enlever la couche de rouille aussitôt qu'elle a acquis une certaine épaisseur.

Il convient de donner à ces bassins une très-faible hauteur, afin de faciliter le dépôt des matières étrangères et d'augmenter la surface d'évaporation, par rapport à la masse du liquide ; l'influence des rayons du soleil sur la rapidité d'éclaircissement des huiles est incontestable et très-considérable. Les huiles, après distillation et épuration, retiennent d'ailleurs encore toujours une petite proportion de carbures trop légers, dont la présence leur communique une grande inflammabilité et dont il faut les débarrasser par évaporation à l'air libre et à une température aussi basse que possible.

Pendant la saison d'hiver, ce double effet ne peut plus être obtenu par la simple action des rayons solaires, et il convient de le provoquer par l'emploi de la chaleur artificielle d'un serpentin de vapeur ; il faut veiller dans ce dernier cas à ce que la température ne s'élève jamais à plus de 15 à 20°, et échauffer la masse aussi lentement et régulièrement que possible pour éviter de la colorer par une élévation trop brusque et trop considérable de la température.

Le temps nécessaire au repos varie naturellement avec la nature des huiles, l'épaisseur de la couche liquide, la température ambiante. Dans un réservoir d'une capacité de 15,000 litres environ, contenant environ 90 centimètres de hauteur de liquide et une huile dont la densité varie

de 0,795 à 0,800, il faut au moins deux jours pour obtenir une clarification complète et arriver au degré voulu d'inflammabilité.

L'emploi du noir animal à la clarification des huiles de pétrole peut être également utile dans quelques cas. Il faut cependant observer dans cette opération certaines précautions. Toutes les fois que nous avons fait passer de l'huile de pétrole épurée sur un filtre contenant du noir en grains, nous avons observé que l'huile sortait du filtre parfaitement clarifiée et transparente, mais très-fortement colorée. Nous avons au contraire obtenu de très-bons résultats, tant au point de vue de la clarification qu'au point de vue de la décoloration, en faisant usage de noir animal en poudre, répandu à la surface du liquide pendant son séjour dans les bassins de repos.

L'emploi de cette matière peut être, dans ce dernier cas, *d'un grand* secours pendant l'hiver, et dans toute saison lorsque *le temps est brumeux* et que le ciel couvert empêche l'action des rayons solaires.

V

ACCESSOIRES DES APPAREILS D'ÉPURATION ET DE DISTILLATION

Réservoirs. — Les usines destinées à la distillation des huiles de pétrole doivent posséder un certain nombre de réservoirs, que l'on peut diviser en trois catégories d'après les fonctions qu'ils sont appelés à remplir :

1° Les réservoirs servant à emmagasiner l'huile brute.

2° Les réservoirs où viennent s'accumuler les produits de la distillation.

3° Les réservoirs destinés à recevoir les huiles et les essences épurées jusqu'au moment de leur expédition.

Dispositions générales des réservoirs. — Les huiles brutes, dès leur arrivée dans l'usine, doivent être transvasées dans des réservoirs fermés :

— Pour éviter le coulage qui se produit dans les barils ;

— Pour mettre le liquide à l'abri des chances d'incendie ;

— Pour éviter un empilage des fûts, opération toujours très-coûteuse en frais de main-d'œuvre.

Les réservoirs destinés à cet usage doivent se trouver placés à proximité de l'entrée de l'usine et complétement isolés de l'atelier de distillation. Il en sera de même pour ceux qui contiennent les liquides épurés. Quant à ceux qui doivent recevoir les produits de la distillation

ils seront placés au contraire à proximité des appareils de condensation et au-dessous d'eux, de manière à ce que le liquide au sortir des serpentins puisse s'y rendre directement sans l'intermédiaire de pompes.

Construction et entretien des réservoirs. — Les huiles et les essences doivent se conserver, autant que possible, dans des réservoirs fermés jusqu'au jour de leur expédition. C'est à ce moment seulement qu'il convient de les transvaser dans des barils. En effet, malgré tout le soin apporté à la confection de ces barils, le liquide qu'ils contiennent subit toujours un certain déchet au bout d'un séjour plus ou moins long, suivant la saison, l'exposition des barils et la manière dont ils sont arrimés.

Le fabricant a tout intérêt à diminuer, autant que possible, son stock en produits épurés; cependant il ne faut pas perdre de vue que la consommation des huiles minérales subit de grandes variations suivant les saisons, si bien que, pendant l'automne et l'hiver, elle devient au moins deux fois plus forte qu'au printemps et pendant l'été. Il en résulte pour le fabricant (s'il veut tirer le plus de profit possible de ses appareils, en les faisant travailler d'une manière à peu près constante) la nécessité d'emmagasiner pendant l'été une grande partie de sa production jusqu'à l'entrée de l'hiver. Il devra donc toujours avoir à sa disposition un certain nombre de réservoirs spécialement destinés à renfermer les produits épurés.

Quoique dans certaines usines on emploie des réservoirs de 50 à 60 mètres cubes de capacité, nous croyons qu'il ne convient pas, en général, de donner à ces récipients des proportions aussi considérables, et qu'il vaut mieux en augmenter le nombre au fur et à mesure des besoins en restant toujours dans des dimensions moyennes; une capacité de 10 à 15,000 litres nous semble donc bien suffisante. La construction d'un grand réservoir présente toujours plus de difficultés que celle d'un réservoir de petite dimension, et nous savons déjà que la condition essentielle à réaliser est d'avoir des réservoirs parfaitement étanches.

Il est également plus facile de nettoyer un petit réservoir qu'un grand, et ce fait est encore à considérer, puisqu'il importe essentiellement que les réservoirs destinés à la conservation des produits épurés soient toujours entretenus dans un état de propreté aussi parfait que possible.

Tous les réservoirs, quelle que soit leur destination et leur forme, doivent être munis d'un flotteur indicateur de niveau, qui permette de se rendre compte à chaque instant de la quantité de liquide contenue dans chacun d'eux. La dilatation très-considérable des huiles de pétrole produit des différences de niveau qui viennent souvent altérer ces indications; aussi faut-il tenir compte de cette cause d'erreur et placer, autant que possible, les réservoirs à l'abri du soleil. Pour la même raison on

ne devra jamais les remplir complétement, mais laisser toujours un espace libre suffisant pour permettre au liquide de se dilater sous l'influence des élévations de température.

Nous avons appelé précédemment l'attention sur ce fait, que la présence des huiles et des essences dans un réservoir en tôle amenait une prompte oxydation des parois intérieures. Quelquefois le liquide éprouve lui-même un léger changement de coloration qui nuit à son aspect. Il conviendra donc, toutes les fois que cela sera possible, de remplacer la tôle ordinaire par le zinc pour les petits réservoirs, et par la tôle galvanisée ou plombée, pour ceux de plus grande capacité[1].

Pour les réservoirs destinés au pétrole brut l'oxydation est moins à craindre, et il suffit d'employer de la tôle simple. Quoi qu'il en soit, il importe d'apporter dans la construction de tous ces réservoirs un soin tout particulier. La double rivure est pour ainsi dire nécessaire et il convient de diminuer, autant que possible, le nombre des joints.

Les réservoirs doivent être fermés à la partie supérieure, afin d'empêcher l'évaporation du liquide; on y pénètre au moyen d'un trou d'homme fermé par un bouchon autoclave, et pour obtenir une fermeture parfaitement étanche on interposera une tresse de chanvre enduite de colle forte.

Nettoyage des réservoirs. — Le nettoyage des réservoirs doit se faire aussi souvent que possible. Dans les réservoirs en tôle galvanisée cette opération peut être faite à de plus rares intervalles que dans les réservoirs en tôle ordinaire, les premiers ne subissant pas d'oxydation de la part des liquides qu'ils contiennent. De toute manière son exécution exige certaines précautions. Les vapeurs hydrocarburées exercent une action anasthésique puissante sur l'organisme, et il serait dangereux de faire descendre un ouvrier dans un réservoir d'une grande capacité au moment où l'on vient d'en retirer de l'huile et surtout de l'essence de pétrole.

Il convient donc de faire arriver tout d'abord dans l'intérieur du réservoir que l'on veut nettoyer un jet de vapeur, que l'on entretient pendant un temps plus ou moins long suivant la capacité du récipient, et en ayant soin de laisser le trou d'homme constamment ouvert. Aussitôt que l'intensité de l'odeur a suffisamment diminué, on laisse refroidir le réservoir sans en refermer l'ouverture, et l'on s'introduit ensuite à l'intérieur pour nettoyer complétement les parois et le fond, à l'aide d'une éponge et d'une certaine quantité d'huile ou d'essence; on termine cette opération en essuyant les parois avec un chiffon de coton bien sec.

1. Nous remarquerons cependant, au sujet des réservoirs en zinc, qu'ils se trouvent exposés à fondre en cas d'incendie en laissant écouler le liquide qu'ils contiennent, et qui, en se répandant de tous côtés, facilite la propagation de l'incendie et devient la cause de nouveaux désastres.

Quelles que soient les précautions que l'on ait prises, il est rare que l'odeur ait disparu d'une manière complète au moment où l'on descend à l'intérieur, et il faut avoir soin de ne pas laisser chaque ouvrier prolonger son séjour au delà de quelques minutes. Il convient même, lorsque la hauteur du réservoir nécessite l'emploi d'une échelle, de passer sous le bras de l'ouvrier qui descend une corde dont on retient l'extrémité, de manière à pouvoir l'aider à remonter dans le cas où il se trouverait subitement pris d'un étourdissement. Ce travail n'exerce d'ailleurs aucune influence fâcheuse sur la santé des ouvriers qui en sont chargés; l'action des vapeurs hydrocarburées, lorsqu'elle s'est prolongée trop longtemps, se traduit par des maux de tête passagers, qui le plus souvent se dissipent au contact de l'air.

Réservoirs de M. Ckiandi. — Quelles que soient les précautions que l'on prenne pour soustraire aux chances d'incendie le liquide contenu dans les réservoirs, il existe de fréquents exemples pour prouver qu'elles ne sont pas toujours suffisantes. De là la supériorité incontestable, à ce point de vue, des réservoirs à cloche, inventés par M. Ckiandi, membre de la Société des ingénieurs civils. Ces réservoirs sont en tout semblables aux cloches des gazomètres employés dans les usines à gaz, à cela près qu'au lieu d'être mobiles comme ces dernières, ils sont fixés au fond d'un bassin plein d'eau par de fortes armatures en fer, de manière à éviter tout mouvement ascensionnel ou latéral du réservoir. (Fig. 22 et 23, pl. 45.)

Veut-on remplir le réservoir, on ouvre le robinet D, qui laisse écouler l'eau et permet au pétrole versé dans le caniveau X de s'introduire par le tuyau M dans la cloche, où il déplace une quantité d'eau égale à son volume. Un tube Q Q', muni d'un flotteur à sonnerie, indique le moment où la cloche est remplie; à cet instant, le pétrole atteignant le niveau *a a*, monte dans le tube, et, s'élevant à un niveau supérieur à celui de l'eau qu'il a déplacée, soulève la soupape qui fait agir la sonnerie. On ferme alors le tube Q Q' à l'aide d'un bouchon à vis, on tourne le robinet H et l'on remplit la fosse d'eau jusqu'en S S'. Pour vider le réservoir il suffit d'ouvrir les robinets N et T. La pression exercée par la colonne d'eau extérieure chasse le pétrole qui se trouve successivement remplacé dans la cloche par l'eau que débite le robinet T[1].

Voici, d'après l'auteur, le résumé des avantages de ce système de réservoirs à cloche :

1° Certitude d'éviter toute chance d'incendie ou d'explosion, inévitables dans l'emploi de tout autre mode d'emmagasinage actuellement admis.

1. Consulter, pour plus de détails, la note publiée sur cet appareil par M. Ckiandi. — Marseille, 1866.

2° Certitude de n'avoir pas de coulage possible.

3° Facilité pour le remplissage, et surtout pour la vidange des huiles destinées à l'expédition ou à la fabrication.

4° Décantation naturelle et forcée des impuretés contenues dans ces réservoirs.

5° Avantage de recueillir jusqu'au dernier litre d'huile contenue dans un réservoir, quelle qu'en soit la capacité, et par conséquent point de déchet à calculer sur l'huile une fois emmagasinée.

6° Facilité incontestable pour le nettoyage des réservoirs.

Il est parfaitement évident que ce système de réservoirs présente un progrès réel sur les réservoirs ordinaires, et qu'il est appelé à rendre de grands services toutes les fois qu'il s'agira d'emmagasiner des quantités considérables de pétrole brut ou mêmes d'huiles épurées. Aussi trouverait-il un emploi excessivement avantageux dans les docks *et entrepôts* où viennent s'accumuler sans cesse des quantités considérables de barils de pétrole brut ou raffiné, qui plus d'une fois déjà ont été la cause de grands désastres.

Dans les distilleries d'huiles minérales, les réservoirs du système Chiandi seront également appliqués avec succès; mais leur prix de revient doit nécessairement être beaucoup plus élevé que celui des réservoirs ordinaires, et cette raison en limitera sans doute l'emploi, dans l'industrie privée, à quelques cas particuliers.

Conservation des huiles de pétrole en silos. — Quels que soient les inconvénients de ce mode d'emmagasinage, il peut se faire que l'on se trouve obligé d'y avoir recours. Ce cas se présente journellement dans les entrepôts où les barils de pétrole ne doivent séjourner que peu de temps, et où l'on ne possède pas un assez grand nombre de récipients pour emmagasiner toutes les huiles qui arrivent à certains moments de l'année en grande abondance.

Dans ce cas, on empilera les barils les uns au-dessus des autres par rangées horizontales, en ayant soin de resserrer auparavant les cercles de ceux qui ne paraîtraient pas être en bon état. L'arrimage devra se faire sous un hangar, de telle sorte que les barils se trouvent à l'abri du soleil, et s'ils doivent y séjourner longtemps, on les recouvrira de terre ou de sable.

A Anvers, Hambourg, Stettin, on a construit, dans les entrepôts, pour emmagasiner ces barils, de grands hangars couverts, entourés d'un remblai de terre.

Les mêmes dispositions peuvent être employées dans les usines pour emmagasiner les barils de pétrole brut; mais on ne doit recourir à ce moyen que dans les cas exceptionnels, en raison de la perte que l'on est certain d'éprouver par le coulage important qui se produit sur les barils ainsi empilés et pressés les uns sur les autres.

Tuyaux de communication. — Les tuyaux en plomb présentent de grands avantages par la facilité avec laquelle on peut les approprier aux usages les plus divers. Dans certains cas, tel que pour les tuyaux de vidange des appareils d'épuration, la présence des produits acides rend leur emploi pour ainsi dire nécessaire. En dehors de cette circonstance particulière, il sera préférable de les remplacer par des tuyaux en fer ou en cuivre. En cas d'incendie, les tuyaux en plomb présentent, il est vrai, beaucoup de facilité pour couper les communications, mais ils ont l'inconvénient de fondre à une température peu élevée; cette même propriété doit les faire rejeter pour toutes les parties des appareils de distillation exposées à une haute température, tels que les tuyaux de vidange des chaudières. Enfin le mode de réunion des tuyaux en plomb, à l'aide de soudures faites sur place, est une source constante de dangers, et la négligence des ouvriers chargés du montage ou des réparations des tuyaux en plomb a déjà causé plus d'un incendie dans les distilleries d'huile minérales.

Les tuyaux en fer, réunis à l'aide de manchons à vis, présentent toutes les conditions de solidité et de sécurité désirables, et sont de beaucoup préférables aux précédents; une seule difficulté se présente dans leur montage, celle d'obtenir la parfaite étanchéité des joints, les pas de vis de ces tuyaux n'étant jamais ajustés avec un grand soin. D'autre part, l'avantage des joints à vis est que, s'ils laissent facilement suinter le liquide, ils ne sont pas exposés comme les joints à brides à s'ouvrir brusquement, en donnant passage à une fuite importante, avantage qui a surtout une grande importance pour les tuyaux d'alimentation des chaudières de distillation.

Pompes. — Le transport des liquides en voie de fabrication doit s'exécuter, autant que possible, à l'aide de pompes afin de supprimer les frais de main-d'œuvre et les causes de perte. Ces pompes ne doivent avoir que des clapets métalliques, le caoutchouc étant soluble dans les hydrocarbures liquides, et le cuir ne tardant pas à se durcir, surtout au contact des huiles chaudes.

A part ces considérations, toute espèce de pompes peut être appliquée à cet usage.

VI

TRANSPORT DES HUILES MINÉRALES.

Préparation des barils. — On emploie généralement pour le transport des huiles épurées et des essences, les mêmes barils qui ont servi à contenir le pétrole brut. Il suffit, pour les approprier à ce nouvel usage, de leur faire subir une série d'opérations ayant pour but de les

nettoyer d'une manière aussi complète que possible. Voici à cet effet comment on procède.

On choisit parmi les barils vides ceux qui présentent le moins de défauts ou d'avaries, et dont la réparation pourra se faire le plus facilement. Ces barils, mis de côté, sont alors soumis pendant un temps plus ou moins long à l'action d'un jet de vapeur, que l'on introduit par le trou de la bonde ; cela fait on les lave, en premier lieu, avec une dissolution alcaline très-étendue, puis finalement avec de l'eau chaude, après quoi on les laisse égoutter. A la suite de cette opération, le baril se trouve complétement nettoyé à l'intérieur, et il ne reste plus qu'à resserrer les cercles et remplacer les douves avariées.

Mais si l'on renfermait l'huile de pétrole ou l'essence dans ces barils, sans leur faire subir d'autre préparation, le liquide ne tarderait pas à se colorer assez fortement. D'ailleurs, quelque soin que l'on *ait* apporté à leur réparation, il arrive souvent que les joints des douves ne présentent pas toute l'étanchéité nécessaire, et quand bien même cette condition se trouverait remplie, grâce à la porosité du bois, les douves absorbent peu à peu une certaine quantité de liquide qu'elles laissent suinter au dehors. C'est pour éviter ces inconvénients que l'on a recours à un enduit intérieur ; la substance généralement employée à cet usage est la gélatine, ou plus simplement la colle forte ordinaire. On commence également à se servir, en Amérique, du mélange de gélatine et de mélasse employé depuis longtemps à faire les rouleaux d'imprimerie[1].

Pour faire le collage des fûts, on introduit par la bonde une certaine quantité de colle forte bouillante et l'on imprime au baril un mouvement de va-et-vient et de rotation, de manière à répartir le liquide sur toute la surface intérieure. On fait ensuite écouler l'excédant, et il reste adhérent à l'intérieur du baril une pellicule très-mince de colle forte, qui durcit au bout de 12 à 15 heures en formant un enduit continu qui protége le liquide du contact du bois et s'oppose à son évaporation.

Embarillage. — Cette opération peut s'effectuer d'une manière très-simple à l'aide d'un dépotoir, au-dessous duquel on vient successivement remplir chacun des barils.

La qualité de l'huile ou de l'essence contenue dans les barils ne souffre pas, même au bout d'un temps assez long, mais il se fait toujours une certaine évaporation de laquelle résulte souvent une perte assez sensible, surtout pour l'essence. Les trépidations et les secousses que subissent les fûts pendant les transports, en desserrant les cercles et entr'ouvrant les joints, deviennent également la cause de pertes souvent considérables. Des barils d'essence, conservés pendant quelques mois sous un hangar à l'abri des rayons du soleil, arrivent à perdre jusqu'à 40 et 5

1. Compte rendu de l'Académie des Sciences. — Séance du 9 mars 1868.

pour 100 de leur poids de liquide. On comprend dès lors qu'il soit difficile de conserver longtemps les huiles et les essences de pétrole dans des barils en bois, quelque bien conditionnés qu'ils soient, et surtout de leur faire subir ainsi un long transport. De là l'idée d'employer des barils en fer munis d'un bouchon à vis. Malheureusement ce genre de récipients présente plusieurs inconvénients. En premier lieu, afin d'éviter l'augmentation du poids mort, on est forcé de donner à la tôle une très-faible épaisseur et de diminuer ainsi considérablement la résistance des parois, qui cèdent au moindre choc. D'autre part le prix, relativement élevé, de ces barils augmente sensiblement le prix de revient des huiles ou des essences. Les barils en bois ne sont généralement pas facturés au consommateur, qui peut à son tour les vendre à son profit. Le baril en fer reviendrait tout à sa charge sans qu'il en pût tirer facilement un bon parti.

Le baril en bois, malgré ses imperfections, se prête donc mieux à toutes les circonstances, et son emploi est devenu à peu près général. Quoi qu'il en soit, il n'en est pas moins vrai que les pertes que subissent les huiles minérales dans les transports un peu longs sont très-importantes, et qu'il convient d'en tenir compte dans l'établissement du prix de revient.

CHAPITRE III.

APPLICATION DU PÉTROLE BRUT A LA FABRICATION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE ET AU CHAUFFAGE DES FOYERS INDUSTRIELS.

I

GAZ DE PÉTROLE.

La composition chimique des huiles minérales a nécessairement, dès l'origine, attiré l'attention des industriels sur l'opportunité de leur application à la fabrication du gaz d'éclairage.

Aussi de nombreux essais ont-ils été faits sur cet emploi, tant en Amérique qu'en Angleterre. Toutefois, nous devons ajouter que jusqu'ici la question n'a pas fait de grands progrès, et que, malgré les résultats satisfaisants qu'ont donnés les expériences de plusieurs industriels, la fabrication du gaz d'éclairage à l'aide des huiles de pétrole n'a pas acquis tout le développement que l'on avait d'abord espéré. Avant d'examiner les causes probables qui en ont arrêté l'essor, nous rappellerons en quelques mots le principe de cette fabrication et les principaux procédés employés.

En 1863, M. Gauldrée-Boileau, consul général de France à New-York, a donné dans les *Annales des Mines*[1], quelques détails intéressants sur les procédés employés par M. Youle Hind, au Canada, pour la transformation des huiles de pétrole en gaz d'éclairage.

Remarquons tout d'abord que le principe sur lequel repose cette transformation est le suivant :

En faisant arriver l'huile de pétrole en filet mince sur une surface portée à une haute température, les hydrocarbures de la forme $C^n H^{n+1}$ se décomposent, en partie, en donnant naissance aux carbures de la forme $C^n H^n$, et notamment aux premiers termes de la série $C^2 H^2$ et $C^4 H^4$. En projetant simultanément dans l'appareil un courant d'eau, on active et on facilite cette décomposition.

M. Youle Hind construisit deux appareils pour fabriquer *le gaz d'éclairage* sur ce même principe. Le premier, destiné à alimenter l'éclairage d'une maison ou d'un établissement industriel, se compose de deux récipients en fonte A et C (fig. 25, pl. 15), placés l'un dans l'autre au-dessus d'un foyer M. L'intérieur A, conique et recouvert d'un dôme hémisphérique, est muni d'une tubulure B venant déboucher à la partie inférieure et par laquelle arrive l'eau introduite au moyen du siphon *a*. Cette eau rencontre une brique D, chauffée au rouge, sur laquelle elle se vaporise et arrive à l'état sphéroïdal sur le fond de la chambre B. L'huile introduite par le siphon *c* dans le récipient C se vaporise et passe par les ouvertures *d* à l'intérieur du vase B où elle rencontre la vapeur d'eau, et s'échappe par le tuyau H après avoir traversé une couche de coke incandescent supporté par une grille *g g*. De là, les vapeurs se rendent dans une série d'appareils condenseurs et laveurs, où s'effectue l'épuration.

Dans les appareils de grande dimension, le double récipient se trouve remplacé par une cornue à deux tubulures, d'une longueur de $2^m,50$, sur $0^m,40$ de largeur et $0^m,32$ de hauteur (fig. 26, 27 et 28, pl. 15). Les liquides arrivent par les tubulures A et B et viennent tomber sur des briques réfractaires polies *a*, *a*, *b*. La couche de coke est placée à l'avant, entre deux grilles inclinées en *c*.

Il résulte des expériences faites en Amérique à l'aide de ces appareils, ainsi que des nombreux essais entrepris sur ce même sujet en Angleterre et sur le continent, que la puissance éclairante du gaz de pétrole est de trois à quatre fois égale à celle du gaz de houille. Il y aurait également à citer, dit-on, à l'avantage de l'emploi du pétrole, l'absence de composés ammoniacaux sulfurés et d'acide carbonique, produisant une économie dans le nombre des appareils d'épuration, une grande économie de temps dans l'opération, qui permet de réduire le nombre des cornues et

1. Sixième série, tome IV, 1863.

de diminuer la capacité des récipients, et finalement une réduction de 50 pour 100 dans les frais d'installation des conduites.

Mais, quels que soient les avantages que peut présenter cette fabrication, il existe un obstacle sérieux à sa généralisation. Cet obstacle est le prix élevé des matières premières qui, malgré la supériorité du rendement et du pouvoir éclairant, rend le prix de revient du gaz ainsi obtenu de beaucoup supérieur à celui du gaz de houille.

Prenons en effet le prix de revient du gaz de pétrole, tel qu'il résulte des expériences de M. Youle Hind.

Prix de revient de 10,240 mètres cubes de gaz de pétrole.

Intérêt du capital à 8 p. 100, sur 5,000 fr.	400 »
Main-d'œuvre.	1825 »
Chaux pour l'épuration	200 »
Pétrole brut 18,228 litres, à 6c 6/10	1203 05
Coke	730 »
Total	4358 05

Introduisons dans ce tableau le prix moyen du pétrole brut en France, soit 0f,35c le litre, nous aurons un nouveau total de 9,535 fr. pour 10,240 mètres cubes, soit environ 0f,95c le mètre cube; chiffre encore bien supérieur à celui des trois mètres cubes de gaz à la houille qui lui correspondent comme pouvoir éclairant.

On voit par cet exemple que le pétrole brut ne peut être appliqué avantageusement à la fabrication du gaz d'éclairage que dans les pays de production, en admettant encore que cette fabrication présente tous les avantages qu'on lui a attribués d'après les résultats obtenus par les premières expériences, assertion qu'il conviendrait de voir confirmer par quelques applications plus étendues et quelques faits plus récents. Malheureusement, les renseignements nous font complétement défaut à ce sujet, et, jusqu'à nouvel ordre, nous nous abstiendrons de toute appréciation à l'égard de cette industrie.

En substituant au pétrole brut les résidus de distillation. goudrons, huiles lourdes, dont on a souvent beaucoup de peine à tirer un parti quelque peu avantageux, on pourrait obtenir du gaz d'éclairage à un prix beaucoup moins élevé; mais la quantité d'huiles lourdes dont on peut disposer est relativement assez restreinte pour qu'il soit difficile, dans la plupart des cas, de baser sur cette production une fabrication quelque peu importante de gaz d'éclairage. Nous dirons toutefois que des essais ont été faits à ce sujet par M. Below, ingénieur du gaz à Leipzig, sur des huiles lourdes provenant de la distillation des huiles brutes de Galicie. Il obtint avec 50 kilog. de cette matière environ

23 mètres cubes de gaz d'éclairage très-pur. Brûlé dans un bec d'Argand à 32 trous, il donna au photomètre de Bunsen une lumière équivalente à 18 et 24 bougies de stéarine (6 à la livre), pour des consommations de de $0^{mc},051$ et de $0^{mc},107$ 1/2 par heure[1].

LI

CHAUFFAGE DES FOYERS A L'AIDE DES HUILES DE PÉTROLE.

Il résulte des récentes expériences de M. H. Ste-Claire-Deville, que l'emploi du pétrole comme combustible, comparé à celui de la houille, donne une économie de 50 pour 100 en poids. On comprend dès lors tous les services que pourrait rendre la substitution des huiles minérales aux *combustibles* solides dans le chauffage des appareils locomoteurs, tels que les locomotives et les machines marines. Dans ce dernier cas surtout, la diminution du poids du combustible à emporter offrirait des avantages considérables. La possibilité de diminuer le poids mort dans les courtes traversées et, dans d'autres cas, de doubler la longueur de la traversée entre les ports de ravitaillement, seraient les principales conséquences de ce changement; ajoutons-y la facilité avec laquelle on peut allumer ou éteindre un pareil combustible et la possibilité d'obtenir une alimentation régulière du foyer, qui suffiraient déjà à lui assurer la préférence, en supposant toutefois que l'on soit arrivé à réaliser les deux conditions suivantes :

1° Construire un foyer dans lequel on puisse brûler les huiles minérales avec facilité, sans danger, sans odeur et sans fumée.

2° Produire une huile minérale dont le prix ne dépasse pas le double de celui de la houille, soit en moyenne 50 fr. par tonne.

De nombreuses expériences ont été faites en Amérique, en Angleterre et en France, dans ces dernières années, pour résoudre la première de ces questions. Toutefois, malgré ces essais, la solution ne semblait pas être encore trouvée lorsque les récents travaux de M. Sainte-Claire-Deville sont venus éclairer la question d'un jour nouveau et l'engager dans une voie où elle ne manquera pas de donner des résultats avantageux.

Il n'en est malheureusement pas de même de la seconde. Comme pour la fabrication du gaz, c'est encore le prix élevé du pétrole brut qui s'oppose naturellement à son emploi en tant que combustible, non-seulement en Europe mais en Amérique même, sur les lieux de production. En effet, nous venons de voir que ce prix ne devait pas dépasser en France 50 fr. la tonne, tandis que le prix moyen du pétrole

1. *Die Erdöl-Reichthümer Galiciens*, par C. F. Ed. Schmidt, ingénieur civil. — Vienne, 1865.

brut arrivant d'Amérique atteint, dans les ports français, le chiffre de 35 à 40 fr. les 100 kilog. Les huiles brutes de schiste, de provenance indigène, ne descendent guère elles-mêmes au-dessous de 20 fr. les 100 kilos, et le goudron de gaz seul pourrait dans cet ordre de produits remplir les conditions de prix mentionnées. Si nous admettons d'ailleurs, pour un instant, que le prix du pétrole brut vienne à s'abaisser d'une quantité suffisante, il restera encore une condition à examiner : la production des gîtes de pétrole actuellement en état d'exploitation pourrait-elle suffire à la consommation de l'industrie. Or, si nous remarquons que pendant une durée de sept années, du 1er janvier 1861 au 1er janvier 1868, correspondant par conséquent à la période pendant laquelle cette industrie a acquis son plus grand développement, la production de pétrole brut dans l'Amérique du Nord, n'a pas dépassé 1,500,000 tonnes, soit 1/10 de la quantité de houille extraite en France pendant une année, on comprendra que dans l'état actuel rien ne peut faire espérer que l'on arrive un jour à extraire assez de pétrole brut pour fournir de combustible une partie importante de l'industrie.

Nous avons peu de données certaines, il est vrai, sur l'avenir des gisements de pétrole en Europe, mais il est plus que probable que leur production n'atteindra jamais l'importance de celle des États-Unis; d'autre part, il ne faut pas oublier que la production de la houille en France, que nous avons prise pour terme de comparaison, est insuffisante à la consommation intérieure du pays. Nous ne croyons donc pas qu'il y ait là une question d'avenir pour les huiles de pétrole proprement dites; mais il est certain que la solution du problème consistant à appliquer les combustibles liquides au chauffage des foyers industriels pourra rendre de grands services dans beaucoup de cas particuliers, dans lesquels les huiles brutes de schiste et les goudrons de gaz remplaceront avantageusement les huiles de pétrole.

TROISIÈME PARTIE.

ÉTUDE ET APPLICATIONS DES PRODUITS DE LA DISTILLATION DES HUILES BRUTES.

CHAPITRE PREMIER.

ESSENCES.

Nature et propriétés des essences de pétrole.—Caractères chimiques et physiques. — On comprend généralement *dans le* commerce, sous le nom d'*essences de pétrole*, les carbures liquides dont la densité ne dépasse pas 0,720 et formant des mélanges d'une densité moyenne de 0,705 à 0,710.

Cette catégorie renferme donc tous les premiers produits de la distillation variant en densité de 0,600 à 0,720, et dont le point d'ébullition s'élève de +15 à 120° centigrades. Ces essences, après le traitement à l'acide sulfurique et à la soude, ne représentent qu'un mélange de composés binaires de la série $C^n H^{n+2}$. C'est donc à tort que l'on a désigné souvent sous le nom d'*éthers de pétrole* les produits les plus légers obtenus par une distillation, convenablement ménagée du pétrole brut, ou une rectification des essences.

Il en est de même de la dénomination générale d'*essences*, appliquée à l'ensemble des premiers produits de la distillation, dénomination qui comprend, au point de vue chimique, plusieurs séries de composés organiques dont quelques-uns, il est vrai, tels que les *essences de térébenthine, de poivre, de citron, d'orange,* etc., sont également de simples hydrocarbures, d'une composition toutefois différente, mais des composés bien définis, renfermant le carbone, l'hydrogène et quelquefois de l'oxygène, en proportions toujours identiques ; tel n'est pas le cas pour les *essences de pétrole*. Ce n'est donc que par l'analogie de certaines propriétés des huiles légères de pétrole avec celles des huiles volatiles essentielles que l'on peut expliquer cette dénomination d'ailleurs inexacte.

C'est principalement par leur grande inflammabilité que les composés désignés sous le nom d'essences de pétrole, se distinguent des huiles propres à l'éclairage. Nous savons en effet que, parmi les hydrocarbure

compris dans la première catégorie, il en est dont le point d'ébullition ne dépasse pas 15° centigrades, et que les plus fixes entrent en ébullition à 120°. Aussi, les essences de pétrole émettent-elles une grande quantité de vapeurs à la température ordinaire, ce qui fait qu'elles prennent feu à la simple approche d'un corps enflammé.

Lorsque les essences ont été convenablement épurées, elles se présentent sous l'aspect d'un liquide incolore, d'une grande transparence, et doué de reflets violacés. Exposées au contact de l'air libre, elles se volatilisent alors très-promptement, sans laisser aucun résidu.

Mais si l'épuration n'a pas été complète, elles se colorent peu à peu au contact de l'air en prenant une teinte légèrement jaunâtre et déposent par l'évaporation un résidu goudronneux.

Applications des essences de pétrole.—Essences à détacher. —Vernis à l'essence de pétrole.—Les essences de pétrole dissolvent avec facilité les corps gras et résineux, et cette double propriété, commune d'ailleurs à tous les carbures d'hydrogène, permet de les employer soit pour dégraisser les étoffes ou enlever les taches de graisse, soit pour fabriquer des couleurs et des vernis à l'essence.

Comme essence à détacher, l'essence de pétrole présente l'avantage d'avoir une odeur beaucoup moins pénétrante et moins persistante que celle de l'essence de térébenthine ou de la benzine.

En rectifiant à l'aide d'une distillation à la vapeur les essences provenant de la distillation du pétrole brut, mettant de côté les parties les plus légères et les épurant avec soin à l'aide du traitement ordinaire, on arrive à obtenir une substance très-peu odorante, et que l'on peut facilement parfumer en y ajoutant par exemple une très-petite quantité d'essence de lavande ou d'amendes amères. La fabrication de ces essences à détacher doit certainement donner d'excellents résultats, et nous ne comprenons pas qu'elle n'ait pas acquis plus d'extension. Il faut sans doute attribuer ce fait à la répugnance du public pour tout ce qui se rapproche des huiles de pétrole. Aussi a-t-on généralement cherché à déguiser leur origine par un nom d'emprunt. Nous ferons remarquer cependant que l'emploi des essences de pétrole ne présente pas plus de dangers que la plupart des produits employés au même usage; car l'essence de térébenthine, la benzine, l'alcool sont tout aussi inflammables, et pourtant on les applique journellement, non-seulement dans l'industrie, mais dans les usages de la vie privée.

La substitution des essences de pétrole à l'essence de térébenthine dans la fabrication des vernis est assez répandue aujourd'hui; mais le plus généralement on se contente de mélanger les deux essences dans une certaine proportion; l'infériorité de prix de l'essence de pétrole, qui en temps normal vaut 1/3 ou 1/2 fois moins que l'essence de térébentine, assure au fabricant un bénéfice d'autant plus considérable que le mé-

lange conserve l'odeur de ce dernier produit, ce qui permet de lui assigner la même valeur. Considéré à un autre point de vue, l'emploi de l'essence de pétrole pure dans la peinture, présente cet avantage de ne pas répandre une odeur aussi forte et aussi persistante que l'essence de térébenthine : aussi, n'exerce-t-elle pas comme cette dernière une influence nuisible sur la santé des ouvriers. Les essences destinées à la dissolution des peintures à l'huile ne doivent pas être aussi légères que celles employées pour détacher les étoffes, qui présenteraient l'inconvénient de s'évaporer trop vite : une densité moyenne de 0,725 à 0,720 est préférable. Cette densité suppose qu'on séparera tous les produits de la distillation dont la densité variera de 0,700 à 0,740 environ, en sacrifiant ainsi une certaine quantité d'hydrocarbures qui pourraient être employés plus avantageusement comme huiles d'éclairage : aussi ne trouve-t-on pas toujours dans le commerce des essences de pétrole possédant cette densité.

Nous signalerons encore dans cet ordre d'idées deux applications secondaires de l'essence de pétrole. Cette substance est employée avec avantage aujourd'hui au nettoyage des pièces de machines, et on en fait usage, notamment, sur les machines locomotives. D'autre part on essaye de l'appliquer au dégraissage des draps, mais nous ignorons si les résultats en ont été satisfaisants. Il convient pour cette dernière application de faire usage d'essences *parfaitement épurées ;* car elles ne doivent laisser aucune trace de résidu sur les étoffes.

Emploi de l'essence minérale pour l'éclairage. — De nombreux essais ont été entrepris dans le but d'arriver à appliquer l'essence de pétrole à l'éclairage ; mais la grande inflammabilité de cette substance s'est opposée à l'adoption de la plupart des procédés imaginés jusqu'à ce jour pour atteindre ce résultat.

L'essence de pétrole est cependant susceptible de brûler avec une flamme assez éclairante, et il était à désirer qu'à défaut d'autre application importante, on pût arriver à tirer profit de cette propriété. Le seul appareil dont on ait fait un usage un peu étendu est celui que représente la figure 29, pl. 14.

Il se compose en principe d'un réservoir en métal ou en verre, dans lequel est enfermée une éponge : un tube en toile métallique en occupe le centre et descend jusqu'à une petite distance du fond. C'est dans ce tube que plonge la mèche dont la partie supérieure passe dans un porte-mèche fixé à l'aide d'un pas de vis sur le corps de la lampe. Pour remplir l'appareil on enlève le porte-mèche, on verse l'essence dans le réservoir, et lorsqu'il est plein, on retourne la lampe ; l'excès de liquide que ne retient pas l'éponge imbibée d'essence s'écoule alors, on laisse égoutter complétement et l'on referme l'ouverture. La seule capillarité suffit pour faire monter l'essence le long de la mèche. On voit d'après

cette disposition que la lampe peut être renversée sans qu'il y ait lieu de craindre aucun épanchement de liquide.

Cependant, la manipulation d'un produit aussi inflammable que l'essence de pétrole présente toujours un certain danger entre les mains de personnes inexpérimentées, et c'est là une des raisons qui ont fait abandonner peu à peu ces lampes dont l'emploi avait pris tout d'abord une grande extension, lors de leur première apparition en 1866. Un autre inconvénient est la facilité avec laquelle la flamme s'éteint et l'odeur qu'elle répand aussitôt que le moindre courant d'air vient la faire vaciller.

Gaz hydrocarburé. — On a cherché à utiliser également l'essence de pétrole pour l'éclairage en mettant à profit sa grande volatilité pour former des mélanges combustibles d'air atmosphérique et de vapeurs hydrocarburées. Fait-on passer, en effet, un courant d'air sur la surface d'une nappe mince d'hydrocarbure liquide, celui-ci s'évapore promptement, et l'air se charge d'une quantité plus ou moins considérable de vapeurs hydrocarburées, auxquelles il fournit, lorsqu'on vient à les enflammer, l'oxygène nécessaire à leur combustion.

Tel est le principe du procédé imaginé depuis plusieurs années pour obtenir à l'aide de l'essence de pétrole et de l'air atmosphérique un gaz d'éclairage doué d'une grande propriété éclairante, et dont la production est aussi simple qu'économique.

Ce mode d'éclairage présente une grande facilité d'installation.

Tout en offrant les avantages de l'éclairage au gaz ordinaire, il ne demande ni l'emploi d'un gazomètre ni l'établissement d'une usine de fabrication, et convient parfaitement par cela même à l'éclairage des établissements industriels isolés, des communes rurales et des habitations privées.

Cependant, malgré ces avantages, l'usage ne s'en est nullement répandu, et c'est à peine si l'on compte aujourd'hui en France deux ou trois usines qui l'aient adopté.

On peut expliquer ce fait par deux raisons principales : la première c'est que les procédés proposés pour l'application de ce moyen d'éclairage laissaient beaucoup à désirer. La seconde a son origine dans les préjugés du public contre les huiles de pétrole et tous les dérivés qui en proviennent plus ou moins directement.

Depuis un an ou deux MM. Rouillé et C^ie^ ont tenté de triompher de ces obstacles en apportant quelques perfectionnements à la disposition et à la construction des appareils et des carburateurs en particulier.

Il y a deux points importants à résoudre pour assurer à ce mode d'éclairage les avantages d'économie d'entretien et de facilité d'installation qu'il aspire à réaliser. Il faut pour cela :

1° Obtenir du liquide hydrocarburé le maximum d'effet utile, en multipliant autant que possible les points de contact entre celui-ci et le courant d'air qu'il doit saturer ;

2° Imprimer au courant d'air qui traverse le carburateur une vitesse aussi régulière que possible, afin d'obtenir une intensité de lumière constante.

Le moyen le plus simple de résoudre le premier point est de mettre le liquide en contact avec l'air par l'intermédiaire d'une substance poreuse. A cet effet, MM. Rouillé et C^ie^ emploient la laine cardée, et pour faciliter l'évaporation de l'essence dont elle est imbibée, ils élèvent la température du carburateur au moyen d'une circulation d'eau chaude ; ils chauffent également, par le même moyen, l'air qui *arrive dans* le carburateur, et cette circonstance favorise encore la *volatilisation du liquide* au travers duquel il passe.

Quant à la pression, elle s'obtient à l'aide d'un système de soufflets mis en action par un mouvement d'horlogerie. Cette disposition imprime nécessairement à l'air un mouvement intermittent. Afin de remédier à cet inconvénient, le courant d'air, avant d'entrer dans le carburateur, traverse deux régulateurs de pression : le premier est un réservoir en caoutchouc sur lequel vient appuyer une planche à charnière, portant un contre-poids ; le second est un régulateur à eau.

La fig. 30, pl. 15 représente une vue d'ensemble d'un appareil de cette espèce. A est un réservoir contenant le liquide carburateur et muni d'un tube indicateur de niveau. De ce réservoir le liquide descend dans le second réservoir B, au moyen d'un tube muni d'un robinet et divisé en deux branches à son extrémité. Deux mèches 1 et 2, plongeant dans le liquide le déversent dans le carburateur proprement dit D. L'ensemble de ces deux vases communiquants, hermétiquement fermés, fonctionne comme la fontaine de Mariotte et le niveau constant du liquide dans le vase B assure la régularité de l'alimentation.

E, E, sont les deux soufflets qui refoulent l'air dans les deux régulateurs F et H, d'où il pénètre ensuite de son côté dans le carburateur au moyen du conduit I, pour en sortir par le tuyau K, à l'état de gaz inflammable. Le chauffage de l'eau destinée à élever la température de l'air introduit dans l'appareil se fait en N, au moyen d'un bec de gaz dont la prise est effectuée sur le tuyau K. Cette disposition nous paraît dangereuse.

Un carburateur de ce genre, muni de tous ses accessoires et pouvant servir à l'alimentation de 250 becs, n'occupe pas plus de 2^m^,00 de hauteur sur 1^m^,50 de longueur et 0^m^,60 de largeur. On voit donc que l'application de ce système d'éclairage n'exige pas une place bien considérable, ce qui est d'un grand avantage pour le cas de l'éclairage d'une usine ou d'un établissement industriel quelconque.

MM. Rouillé et C^ie^ ont également imaginé d'appliquer leur système à l'alimentation d'un nombre assez réduit de becs placés sur un seul candélabre. Dans ce cas l'appareil carburateur est placé dans le pied même du candélabre, et le contre-poids qui fait mouvoir le mouvement d'horlogerie est remplacé par un barillet.

Le système du double soufflet nous paraît défectueux au point de vue de la régularité de la pression ; les deux régulateurs par lesquels on a cherché à remédier à ce défaut compliquent l'appareil; l'emploi d'une petite turbine pour les appareils de quelques becs et d'un ventilateur à force centrifuge, pour les appareils de plus grande dimension, nous semblerait préférable.

Il résulte de quelques expériences faites sur ce système d'éclairage, qu'un bec consumant à l'heure 72 litres de gaz hydrocarburé donne la même quantité de lumière qu'un bec alimenté au gaz de houille et consommant 140 litres à l'heure. La quantité d'essence nécessaire pour saturer ces 72 litres, serait de 33 grammes.

Quels que soient les avantages que semble devoir promettre l'emploi de ce mode d'éclairage dans beaucoup de cas particuliers, le nombre considérable des essais qui ont été tentés jusqu'à ce jour pour introduire d'une manière courante l'application de l'essence de pétrole à la production du gaz et le peu de succès qui a couronné jusqu'ici les tentatives de ceux qui s'en sont occupés nous font un devoir de n'en parler qu'avec la plus grande réserve.

Certes, les dispositions adoptées par MM. Rouillé et C^ie^, quoique un peu compliquées, pourront offrir quelques améliorations dont on pourra tirer parti ; mais il convient d'attendre que la pratique ait confirmé d'une manière bien certaine les avantages que ce mode d'éclairage paraît devoir présenter.

Carburation du gaz d'éclairage. — Il n'en est pas de même de l'application des essences de pétrole à la carburation du gaz d'éclairage. Cette opération a pour but d'augmenter les propriétés éclairantes du gaz de houille, en lui ajoutant une certaine proportion de carbone ; les hydrocarbures provenant de la distillation des huiles de pétrole conviennent parfaitement à cet usage, en raison de la forte proportion de cet élément qu'ils renferment et de leur grande volatilité. On comprend que la condition principale à laquelle doive satisfaire un bon carburateur, c'est de multiplier le plus possible les surfaces de contact entre le liquide et le courant gazeux. Quelquefois on se contente de faire barboter le gaz dans le liquide carburateur, en employant une caisse divisée en deux parties par une fausse cloison (fig. 31, pl. 15). Une excellente disposition nous paraît être celle de la figure 32, pl. 15.

Le carburateur se compose d'une caisse dans l'intérieur de laquelle sont suspendues verticalement une série de mèches en coton plongeant

par leur extrémité inférieure dans la couche de liquide qui en occupe le fond. L'essence de pétrole, en vertu de la capillarité, monte dans ces mèches au travers desquelles vient passer le courant de gaz à carburer.

CHAPITRE II.

HUILE D'ÉCLAIRAGE.

I

PROPRIÉTÉS ET NATURE DE L'HUILE D'ÉCLAIRAGE.

Nature des huiles d'éclairage. — On comprend, sous la dénomination générale d'*huile de pétrole raffinée*, la série des hydrocarbures propres à l'éclairage provenant de la distillation du pétrole brut, et dont le point d'ébullition se trouve compris entre 120° et 250°. Dans ces limites, la densité des produits obtenus varie, ainsi que nous l'avons vu, entre 0,715 et 0,810 pour le pétrole de Pensylvanie, donnant une densité moyenne de 0,800 au mélange définitif.

L'huile de pétrole raffinée est généralement d'une couleur jaune clair, d'un aspect opalin et douée de reflets violacés d'une coloration souvent très-riche. L'odeur de l'huile de pétrole bien raffinée n'est point désagréable et rappelle même un peu celle de certaines essences végétales, mais un long séjour au contact de l'air, ou même quelquefois dans des vases fermés, change peu à peu la nature de son odeur et la rend assez désagréable.

On sait que l'huile de schiste exposée à l'air prend une coloration de plus en plus foncée. Il n'en est généralement pas de même de l'huile de pétrole qui, bien épurée, peut se conserver assez longtemps sans que sa couleur s'altère sensiblement. Cela dépend toutefois de la nature des huiles, car il existe certaines variétés auxquelles il est bien difficile, malgré tous les soins apportés à leur préparation, de donner cette fixité. Les huiles très-riches en éléments sulfureux sont celles qui se conservent le moins bien. Aussi, tandis que les huiles de Pensylvanie ne présentent avec le temps aucune variation de coloration, il n'en est pas de même des huiles du Canada qui, pour la plupart du temps, jaunissent au contact de l'air atmosphérique. La même différence s'observe également entre les huiles provenant de la Galicie orientale et celles de la Galicie occidentale. Les premières sont sujettes à se colorer promptement, même à l'abri de la lumière, en prenant une teinte

plus en plus foncée, tandis que les secondes restent toujours claires et limpides, même après plusieurs années d'exposition à l'air et à la lumière.

La saveur de l'huile de pétrole raffinée est fort désagréable. Sa fluidité est peu supérieure à celle de l'eau; mais, beaucoup plus subtile, elle suinte au travers des joints ou des substances quelque peu poreuses avec autant de facilité que l'huile brute. De là résultent de grandes difficultés pour l'emmagasinage.

Comme les essences, l'huile à brûler dissout, avec la plus grande facilité, les corps gras et résineux : elle pourrait donc être appliquée aux mêmes usages que les premières, car une huile bien épurée s'évapore sans laisser trace de résidus. Les personnes qui font usage de l'huile de pétrole ont pu s'assurer plus d'une fois de cette propriété par la disparition spontanée des taches faites, soit sur le parquet, soit sur les étoffes.

L'huile de pétrole raffinée s'enflamme avec plus ou moins de rapidité suivant qu'elle est plus ou moins dense, plus ou moins volatile; elle brûle à l'air avec une flamme fuligineuse, en répandant une odeur forte et désagréable.

II

ÉCLAIRAGE A L'HUILE DE PÉTROLE.

Considérations générales sur l'éclairage à l'huile de pétrole. — L'emploi des huiles de pétrole pour l'éclairage, en dehors de quelques cas particuliers, ne remonte qu'à un petit nombre d'années; mais il a acquis presque immédiatement un développement considérable, en raison des avantages réels qu'il présente sur l'emploi des huiles végétales, tant au point de vue de l'économie de matière qu'en vertu de la supériorité du pouvoir éclairant. Ces avantages ont été suffisamment exposés à plusieurs reprises et reconnus en plusieurs occasions, pour que nous puissions aujourd'hui les considérer comme un fait acquis et nous dispenser d'entrer à cet égard dans de longs développements. Nous devons reconnaître cependant que l'éclairage à l'huile de pétrole, dont l'extension avait progressivement augmenté pendant plusieurs années d'une manière assez considérable, semble aujourd'hui subir en France un temps d'arrêt.

Nous croyons pouvoir assigner à ce fait deux causes principales :

— Les variations de prix que les huiles minérales ont subies dans ces dernières années.

— Les accidents auxquels a donné lieu la sophistication des huiles d'éclairage, par l'addition d'une plus ou moins grande quantité d'huiles légères.

Le succès de l'éclairage à l'huile de pétrole est dû, en grande partie, à l'économie qu'il présente, et l'on comprend facilement que les hausses de prix considérables que ces produits ont éprouvées, pendant de certaines périodes, aient arrêté l'essor de son développement. Beaucoup de personnes en voyant le prix des huiles minérales se rapprocher peu à peu de celui de l'huile de colza en ont abandonné l'emploi, et l'incertitude qui règne pour l'avenir au sujet des prix écarte quelque peu les nouveaux consommateurs.

D'autre part, il faut bien le dire, la mauvaise foi de quelques fabricants et surtout des détaillants est pour beaucoup dans la défaveur dont sont frappées actuellement les huiles de pétrole auprès d'une grande partie du public. Trop souvent, en effet, on livre à la consommation sous le nom d'huile d'éclairage un mélange d'huile et d'essence, dont la grande inflammabilité devient ensuite la cause de ces accidents si nombreux et quelquefois si graves, que l'on attribue à tort à l'emploi des huiles de pétrole, tandis qu'ils ne proviennent réellement que de l'altération qu'on leur a fait subir. C'est sur ce fait que les journaux qui relatent ces accidents devraient attirer l'attention du public, de manière à le mettre en garde contre les fraudes dont il peut devenir victime, au lieu de lui présenter sans cesse l'huile de pétrole elle-même comme une source de dangers constants auxquels il ne saurait se soustraire qu'en l'excluant désormais des usages domestiques.

Il est bon de faire observer, d'ailleurs, que si l'emploi de l'huile de pétrole tend à rester stationnaire en France; il n'en est pas de même dans les pays étrangers, où, bien au contraire il continue à faire de rapides progrès.

L'Allemagne notamment nous offre plusieurs exemples de villes éclairées à l'huile de pétrole, et les résultats obtenus par ce mode d'éclairage ont paru si avantageux qu'on semble, sur quelques points, le préférer à l'éclairage au gaz.

Il en est de même en Espagne, où l'éclairage aux huiles minérales est très-généralement répandu, et dans certaines villes importantes même s'oppose au développement de l'éclairage au gaz.

En France, les exemples de ce genre sont plus rares. Nous pourrions citer cependant quelques localités où cet éclairage a remplacé avec avantage les anciennes lanternes à l'huile de colza. Mais, en présence de la grande extension que prend l'éclairage au gaz appliqué aux petites villes, il est à présumer que ce dernier moyen prévaudra d'ici à quelques années dans presque toutes les villes actuellement encore éclairées à l'huile.

Une application également inconnue en France de l'éclairage à l'huile de pétrole, c'est l'éclairage des wagons de chemins de fer, que l'on a installé sur plusieurs lignes de l'Allemagne et de la Suisse allemande. L'huile de pétrole présente l'avantage de résister sans se congeler

en hiver aux températures les plus basses, et l'on sait que la propriété qu'ont les huiles végétales d'éprouver dans les mêmes circonstances un épaississement plus ou moins considérable s'oppose, d'une manière complète, à leur emploi comme matière éclairante, sur les lignes de l'Europe septentrionale. De là la nécessité, si l'on ne veut pas employer l'huile de pétrole, d'avoir recours aux bougies de cire dont le prix fort élevé grève considérablement les frais d'exploitation.

La ligne de l'Empereur-Ferdinand, en Autriche notamment, a fait, depuis plusieurs années, une application très-étendue de ce mode d'éclairage, qui lui a donné des résultats satisfaisants. La consommation d'huile minérale, qui dans la première année (1851) fut de 3,509 kilog., atteignit en 1864 le chiffre de 74,760 kilog., et la Compagnie estime à 336,000 florins (840,000 fr.) l'économie réalisée pendant cette période de quatorze ans, par la seule substitution de l'huile minérale à l'huile végétale primitivement employée [1].

Cependant, malgré les avantages économiques que présente l'emploi de l'huile minérale dans l'éclairage des voitures, la difficulté d'obtenir une combustion parfaite et la crainte des dangers qui peuvent en résulter, lorsque les appareils viennent à se briser, en ont beaucoup restreint l'usage, et nous devons même ajouter que la tendance manifeste de plusieurs Compagnies allemandes est de l'abandonner d'une manière complète.

Comparaison de l'éclairage à l'huile minérale avec l'éclairage aux corps gras. — Nous ne saurions mieux faire, en ce qui concerne cette question, que de citer les résultats des expériences faites par MM. Barral, Chevalier et Reveil, et consignées dans leurs réponses aux questions posées par les fabricants d'huile minérale [2].

En voici l'extrait :

Pour les huiles minérales, la dépense moyenne d'un grand nombre d'heures avec plusieurs échantillons, dans une lampe ordinaire à mèche plate (dimension $9^m/_m$) et à réservoir métallique, a été de 23 gr. par heure.

Pour l'huile de colza, avec une lampe modérateur à mèche cylindrique d'un diamètre de 19 millim., la dépense par heure a été de 10 gr. Avec une lampe ayant une mèche de 12 millim., la dépense a été de 21 gr. par heure.

Pour la bougie (bougie de l'Étoile, six à la livre, soit 485 gr.), la dépense a été de 11 gr. par heure.

1. Ch. Goschler. *Traité de l'exploitation des chemins de fer.* 2e partie.

2. *Réponses à des questions posées à MM. Barral, Chevalier et Réveil, etc...* ouvrage déjà cité.

Pour la chandelle de suif (six à la livre), mouchée trois fois à l'heure, la dépense a été de 11 grammes.

Les intensités lumineuses, déterminées à l'aide de dix essais comparatifs au photomètre de Rhumford, peuvent être représentées en moyenne par les nombres suivants :

Intensité lumineuse de la bougie	1.00
— — de l'huile minérale,	
Lampe à mèche plate ($9^m/_m$)	6.06
— — de l'huile de colza épurée	
Lampe modérateur (mèche cylindrique de $19^m/_m$	7.06
d° d° de $12^m/_m$	5.01
Chandelle de suif	0.81

« En appliquant à ces résultats les prix moyens de ces diverses substances à Paris, on arrive au tableau comparatif suivant :

NATURE des COMBUSTIBLES.	DÉPENSE moyenne par heure.	INTENSITÉ de lumière.	PRIX du kilogramme.
	Grammes.		Fran.
Bougie de l'Étoile, 6 par livre	11	1.0	3.12
Huile de pétrole brûlant dans une lampe à mèche plate de 9 millim.	43	6.6	1.12
Huile ordinaire, lampe à mèche cylindrique 19 millim.	40	7.8	1.50
Huile ordinaire, lampe à mèche cylindrique de 12 millim.	21	6.1	1.50
Chandelle mouchée 3 fois par heure	11	0.81	1.60

Pour calculer l'avantage qu'il y a à se servir d'une matière éclairante plutôt que d'une autre, on peut mettre de côté toute autre considération que celles tirées de la dépense dans un temps donné, du prix, de l'intensité lumineuse. En ne tenant compte que de ces trois éléments, on peut dire que l'avantage sera proportionné à l'intensité lumineuse, en raison inverse de la dépense par heure et du prix.

En supposant donc que la bougie brûle comme 1 par heure, la lampe de pétrole consommera dans le même temps 2,09; la lampe à gros bec 3,686; la lampe à petit bec 1,909; la chandelle 1. Si on prend pour unité de prix de la bougie, on aura :

Pour le pétrole	0,528
— l'huile à brûler ordinaire	0,708
— la chandelle	0,755

Si donc l'on représente par 1 l'avantage que l'on a à brûler de l

bougie de l'Étoile, en tenant compte seulement des trois éléments cités, on aura pour les autres les nombres suivants :

Bougie	1.00
Huile de pétrole, avec lampe indiquée mèche de 9 millimètres	5.99
Lampe modérateur au colza (mèche cylindrique de 19 millimètres)	2.95
Lampe modérateur au colza (mèche cylindrique de 12 millimètres)	2.51
Chandelle	1.07

D'où il résulte que les avantages de s'éclairer avec les huiles minérales étant représentés par le chiffre . . 6.00

Ceux de l'éclairage à l'huile de colza dans une lampe modérateur, à mèche cylindrique de 12 milimètres, le seront par 4.05

Ceux de l'éclairage à l'huile de colza, dans une lampe modérateur, à mèche cylindrique de 19 millimètres, le seront par 3.00

Et ceux de l'éclairage à la bougie ou à la chandelle par 1.00

M. Bolley, professeur à l'École polytechnique suisse, en comparant l'éclairage à l'huile de pétrole à celui de la bougie stéarique, a trouvé entre eux le rapport de 1 1/2 à 1.

Conditions que doit remplir une bonne huile d'éclairage. — Les détails que nous avons donnés sur la composition et l'épuration des huiles de pétrole font suffisamment comprendre que la qualité des huiles livrées au commerce doit être éminemment variable. Suivant le procédé employé pour la distillation et l'épuration, le plus ou moins de soin apporté à ces deux opérations, le mode de séparation adopté par le fabricant pour les différents produits, on rencontrera des huiles plus ou moins légères, plus ou moins inflammables, laissant ou ne laissant pas de résidu par l'évaporation. Or, non-seulement ces propriétés influeront sur la puissance éclairante des huiles, mais c'est de là que dépendra également la plus ou moins grande sécurité avec laquelle on pourra en faire usage. Ajoutons à cela qu'il se rencontrera des cas où l'on aura affaire non plus seulement à des huiles naturelles, plus ou moins mal préparées, mais à des mélanges frauduleux dont l'emploi ne peut manquer de présenter de véritables dangers, et contre lesquels le public doit être mis en garde.

Ces considérations vont nous amener à examiner, en premier lieu, les caractères que doit présenter une huile d'éclairage de bonne qualité, et, en second lieu, les moyens que l'on peut employer pour les reconnaître d'une manière à la fois simple et expéditive.

La couleur d'une bonne huile à brûler doit être aussi pâle que possible, une forte coloration étant presque toujours l'indice d'une mauvaise opération ; mais il ne faut pas que ce résultat soit obtenu au dépens de la densité de l'huile, par l'addition d'une certaine proportion d'essences, comme cela se rencontre dans beaucoup de cas. La densité de l'huile d'éclairage ne doit pas en effet descendre au-dessous d'une certaine limite, et cette limite est habituellement fixée à 0,800. Ce chiffre moyen peut être obtenu assez régulièrement avec les pétroles de Pensylvanie en réunissant dans un même groupe, ainsi que nous l'avons vu précédemment, tous les carbures dont la densité se trouve comprise dans les limites extrêmes de 0,715 à 0,810. Il n'y aurait aucun inconvénient cependant, dans certains cas, à faire usage de liquide d'une densité moyenne inférieure, variant de 0,800 à 0,790, par exemple. Le seul obstacle qui s'oppose, en effet, d'une manière sérieuse à l'emploi des hydrocarbures plus légers, c'est leur trop grande inflammabilité ; mais un liquide marquant 0,790 peut fort bien être employé sans danger, s'il n'entre pas dans sa composition une trop forte proportion de carbures plus légers, tandis qu'un liquide à 0,800 ou même 0,810 et 0,820, formé d'un mélange d'hydrocarbures légers et d'huiles lourdes, sera toujours d'un emploi dangereux.

En un mot, ce n'est pas la densité, mais la composition du mélange employé, qui influe principalement sur l'innocuité de son emploi ; et s'il existe, il est vrai, un rapport constant entre la densité et l'inflammabilité de chacun des hydrocarbures pris en particulier, il n'en est plus de même lorsque l'on considère le mélange dont on fait usage comme huile à brûler, mélange dont on peut régler la densité à volonté, en faisant varier la proportion de ses éléments constituants. Or, pour obtenir la densité moyenne de 0,790, il faudrait augmenter dans de trop fortes proportions la quantité de carbures légers. Il est d'ailleurs incontestable que la densité de 0,800 est celle qui correspond le mieux au degré de capillarité nécessaire pour obtenir un bon éclairage. Nous considérerons donc la densité de 0,800 comme l'indice d'une bonne huile de pétrole, à cela près qu'elle ne soit pas le résultat d'un mélange frauduleux, et nous appellerons spécialement sur ce point l'attention du lecteur.

Afin de mieux faire comprendre l'importance de cette question, nous donnerons ici quelques exemples de mélanges d'huiles lourdes et d'essences que nous empruntons à la brochure de MM. Barral, Chevalier et Réveil.

		Densité des mélanges.
1er mélange.	60 p. 100 huile lourde, densité 0,847 40 p. 100 d'essences légères. . . 0,732 100	0,796

		Densité des mélanges.
2me mélange.	62 p. 100 huile lourde, densité 0,840 38 p. 100 d'essences légères . . 0,720 100	0,790
3me mélange.	67 p. 100 huile lourde, densité 0,858 33 p. 100 d'essences légères. . 0,700 100	0,800

Or ces mélanges, tout en présentant une densité égale, ou à peu près, à celle de l'huile d'éclairage de bonne qualité, ne laissent pas que de répandre des vapeurs à la température ordinaire, et prennent feu à l'approche d'un corps enflammé.

L'examen du degré d'inflammabilité est donc le point essentiel. Ce degré a été fixé par l'administration française à 35° centig. comme limite inférieure. On pourrait cependant faire également usage sans inconvénients, dans la plupart des cas, d'un liquide dont le degré d'inflammabilité serait inférieur, et l'on rencontre souvent dans le commerce des huiles de bonne qualité qui s'enflamment à 30° et au-dessous. La température de 35° est en effet bien supérieure à celle à laquelle se trouvent soumis les appareils d'éclairage dans la plupart des cas, mais elle n'est cependant pas si élevée qu'on ne puisse facilement arriver à préparer des huiles qui satisfassent à cette condition.

Cela posé, il nous reste à examiner comment on doit procéder pour vérifier la densité et le point d'inflammabilité d'une huile donnée.

Essai au densimètre. — On fait généralement usage, pour déterminer la densité des huiles, de densimètres à tige graduée, destinés spécialement à cet usage, et portant une série de divisions à partir de 0,600 jusqu'à 0,850 ou à 0,900. Quelques-uns même, uniquement réservés à la détermination de la densité des huiles d'eclairage minérales, sont gradués entre les deux divisions extrêmes 0,790 et 0,850.

L'essai doit se faire à une température constante fixée à 15° centigrades. Cette condition est essentielle à observer, car le coefficient de dilatation des huiles de pétrole étant très-élevé, la densité varie nécessairement dans une proportion assez considérable avec la température.

En introduisant l'huile à essayer dans une éprouvette en verre, on pourra juger en même temps de la couleur du liquide.

Détermination du degré d'inflammabilité. — On se contente souvent, pour essayer l'inflammabilité d'une huile, d'en verser une certaine quantité dans une soucoupe, et de plonger dans le liquide une allumette enflammée, après l'avoir promenée pendant quelques instants à sa surface. Si le liquide prend feu, il le faut rejeter ; l'allumette s'éteint-

elle, au contraire, au contact du liquide, on peut employer celui-ci sans aucun danger. Cette expérience, fort simple d'ailleurs, demande à être faite avec un certain soin, car en prolongeant trop longtemps le contact de l'allumette, on arriverait nécessairement à échauffer suffisamment le liquide pour qu'il émette des vapeurs inflammables, quel que soit d'ailleurs son degré d'inflammabilité.

Dans le but d'obtenir des indications plus précises, tout en opérant dans les mêmes conditions, on a imaginé, pour exécuter ces essais, des appareils spéciaux auxquels on donne le nom de *naphtomètres*, et qui sont construits sur le principe suivant.

On chauffe au bain-marie une petite quantité de l'huile à essayer, quantité que l'on introduit dans un vase fermé par un couvercle, percé lui-même d'une ouverture au travers de laquelle viennent s'échapper les vapeurs au fur et à mesure qu'elles prennent naissance. Cette ouverture est surmontée d'une courte cheminée dont le milieu est occupé par un porte-mèche dans lequel on introduit une petite mèche de coton plongeant par son extrémité inférieure dans le liquide. Au contact de la flamme de cette mèche, les vapeurs dégagées par l'huile chauffée à une température suffisante viennent s'enflammer brusquement, en produisant une petite explosion qui éteint instantanément la mèche. Un thermomètre plongeant dans le liquide donne à ce moment la température à laquelle celui-ci est parvenu.

La figure 33, pl. 15, représente un de ces appareils d'après la disposition adoptée par M. Van-Hans, à Anvers. Il se compose d'un cylindre en cuivre A, auquel est fixée une boîte cylindrique C, dans laquelle on introduit l'eau du bain-marie. Le récipient D, contenant le liquide à éprouver, est lui-même recouvert d'un couvercle B portant une anse J, le thermomètre F et la cheminée à porte-mèche K. Une glace L, placée entre le porte-mèche et le thermomètre, protége ce dernier contre le rayonnement de la flamme. Pour se servir de cet instrument, on remplit d'eau le bassin C jusqu'en c', et on le recouvre du bassin D contenant l'huile à essayer, dont le niveau est fixé par un repère. On recouvre le tout du couvercle, et l'on place à l'intérieur du cylindre A une lampe à alcool dont la flamme ne doit pas dépasser 10 à 15 millimètres, ni toucher le fonds du bassin C. On allume la petite mèche L, alimentée par l'huile à essayer, en ayant soin que la hauteur de la flamme ne dépasse point la ligne R, tracée sur la glace. Cela fait, l'opération s'achève d'elle-même; l'huile s'échauffe lentement, la petite flamme produit un appel d'air au travers du couvercle et de l'ouverture H, et aussitôt que les vapeurs d'huile apparaissent en quantité suffisante, elles s'enflamment au contact de la flamme L, en produisant une petite explosion qui détermine son extinction. A ce moment, l'huile a donc atteint le degré de chaleur auquel elle est susceptible d'émettre des vapeurs inflammables. Ce degré se trouvera indiqué par le thermomètre. L'opéra-

doit se faire aussi lentement que possible en employant de l'eau froide.

On voit, par la description qui précède, que cet appareil peut être assimilé à une véritable lampe exposée à l'action d'une source quelconque de chaleur, et dans laquelle il existerait une communication entre le réservoir d'huile et le bec. A ce point de vue, il semble donc remplir toutes les conditions désirables, puisqu'il permet d'opérer dans des circonstances analogues à celles de l'emploi des huiles dans la pratique. Mais il est facile de se rendre compte, par un usage quelque peu prolongé, de son imperfection au point de vue de l'exactitude des indications qu'il doit fournir. Il s'en faut de beaucoup, en effet, que la petite flamme s'éteigne aussitôt que les vapeurs hydrocarburées commencent à se produire; le plus souvent elles arrivent d'abord en quantité insuffisante pour provoquer une explosion capable d'éteindre la flamme, et elles viennent simplement brûler pendant quelques secondes à son contact. Lorsque les huiles contiennent 8 à 10 pour 100 d'essences, l'explosion ne se fait pas, les vapeurs dégagées s'enflamment et continuent à brûler avec la mèche. Le thermomètre n'indique pas non plus toujours exactement la température correspondante. Enfin, il nous suffira d'ajouter que, suivant que l'on effectue plus ou moins vite l'opération, on peut obtenir une différence de 3 à 4 degrés, et même plus, dans les indications du thermomètre, pour faire comprendre que cet instrument ne saurait donner des indications suffisamment précises dans la plupart des cas.

Appareil de MM. Urbain et Salleron pour l'essai des huiles minérales. — L'appareil imaginé par M. Urbain, membre de la Société des Ingénieurs civils, répond mieux au but que l'on se propose.

Le procédé en question est basé sur ce fait que pour les liquides émettant des vapeurs inflammables, le degré d'inflammabilité à une certaine température est proportionnel à la tension des vapeurs qu'ils émettent à cette température, ou en d'autres termes qu'ils sont d'autant plus inflammables qu'ils sont plus volatils.

Voici, d'après M. Urbain, la tension de vapeur des liquides correspondant aux diverses périodes de la distillation [1]:

1, Ces résultats ont été obtenus en opérant sur des échantillons prélevés de deux en deux heures sur le produit de la distillation de 2,500 litres d'huile brute.

	Densité des liquides à 15°.	Tension de vapeur à la même température en millim. d'eau.
Liquides composant l'huile d'éclairage [1].	812.	0
	797.	5
	788.	15
	772.	40
	762.	85
	756.	125
Liquides formant l'essence de pétrole.	735.	410
	695.	930
	680.	1185
	650.	2110

Le tableau qui précède nous montre suffisamment tout le parti qu'on peut tirer de cette relation entre la densité et la tension de vapeur des hydrocarbures employés à l'éclairage. Le problème revenait donc à construire un appareil susceptible de donner immédiatement la mesure de la tension d'une huile quelconque, tout en présentant la simplicité nécessaire à tout instrument destiné à la pratique industrielle.

La figure 34, pl. 14, représente l'appareil de MM. Urbain et Salleron, dont le principe est le même que celui de l'appareil employé par M. Pouillet, pour la mesure des tensions des vapeurs. Une boîte en cuivre B est hermétiquement fermée par le disque *d*, rodé sur ses bords. Le disque donne passage à un tube manométrique en verre *m*, de 30 à 35 centimètres de longueur, divisé en millimètres et à un petit thermomètre *t*. Il est en outre percé d'une ouverture circulaire O, que l'on peut fermer ou dégager de manière à établir une communication entre la boîte B et une petite chambre cylindrique *c*, percée dans le bloc G, en faisant glisser à droite et à gauche ce dernier, rodé sur le disque *d*.

Pour faire un essai à l'aide de cet appareil, on commence par introduire dans la boîte B 50 centimètres cubes d'eau, on amène la pièce G dans la position correspondant à la fermeture de l'orifice O, et l'on introduit dans la cavité *c* quelques centimètres cubes de l'huile à essayer. Cela fait, on ferme hermétiquemeut cette cavité, et on plonge tout l'appareil dans un vase plein d'eau, afin de lui faire prendre une température bien uniforme, qu'il devra garder pendant la toute durée de l'expérience. Ce résultat une fois obtenu, l'on comprime un peu l'air contenu dans la boîte B, en soufflant par le tube muni d'un petit robinet, de manière à amener le niveau du liquide dans le tube manométrique en regard du zéro de sa graduation, puis on fait glisser la pièce G, jusqu'à ce que l'ouverture O coïncide avec la partie inférieure de la petite chambre *c*. A ce

1. L'huile résultant de cette distillation avait, à la même température de 15°, une densité de 0,800 et une tension de vapeur de $64^{m}/_{m}$ d'eau.

instant, l'huile qui y était contenue tombe dans l'intérieur de la botte B, et s'y trouve remplacée par un égal volume d'air.

Le fait de l'introduction du pétrole, sans changer en rien la pression de l'air contenu dans la capacité B, vient ajouter à cette pression la tension de vapeur de l'huile qui s'est répandue à la surface de l'eau, augmentation de pression qui se trouve indiquée par le manomètre *m*.

Lorsque la colonne *m* est devenue stationnaire, on lit la hauteur à laquelle elle est parvenue et en même temps la température indiquée par le thermomètre *t*. On obtient ainsi en millimètres d'eau la tension de vapeur de l'huile à essayer, correspondant à une température donnée.

Dès lors, on comprend facilement que si l'on connaît d'avance la tension de vapeur que donne à cette température une bonne huile prise pour type, on pourra, de la comparaison des nombres exprimant les tensions de ces deux liquides, conclure immédiatement la valeur de l'échantillon sur lequel on a opéré.

C'est dans ce but que M. Urbain a proposé d'adopter pour type de comparaison une huile préparée de telle sorte qu'elle ne contienne aucun produit de densité inférieure à 0,735 ou supérieure à 0,820, et au moyen de laquelle il a pu dresser le tableau suivant :

TEMPÉRATURES.	TENSION DE VAPEUR en millim. d'eau.	TEMPÉRATURES.	TENSION DE VAPEUR en millim. d'eau.
0	34.5	18	73.0
1	36 0	19	76.0
2	37.5	20	79.0
3	39.0	21	82.5
4	41.0	22	86.0
5	43.0	23	90.0
6	45.0	24	95.0
7	47.0	25	100.0
8	49.0	26	105.0
9	51.0	27	110.0
10	53.0	28.	116.0
11	55.0	29	122.0
12	57.0	30	129.0
13	59.0	31	136.0
14	61.5	32	144.0
15	64.0	33	153.0
16	67.0	34	163.0
17	70.0	35	174.0

A l'aide de cette table, il devient très-facile de se rendre compte immédiatement, au moyen de ce petit appareil, de la valeur proportionnelle d'une huile quelconque. Aussi croyons-nous qu'il conviendrait d'en introduire l'usage dans le commerce et dans l'industrie, où il se substituerait avec avantage à celui du naphtomètre dont nous avons précédemment signalé les inexactitudes.

Appareils d'éclairage. — Il nous reste maintenant à examiner une question des plus importantes, celle des appareils d'éclairage.

On sait que dans les appareils destinés à brûler les huiles végétales, on est obligé d'avoir recours à un procédé artificiel pour faire monter l'huile dans la mèche en quantité suffisante pour y entretenir continuellement la combustion. On y arrive soit au moyen de la simple pression de l'huile placée dans un réservoir supérieur, soit en adaptant dans le corps de la lampe un piston pressé par un ressort à boudin (lampe modérateur), ou un mouvement d'horlogerie agissant sur un double soufflet (lampe carcel).

Lorsqu'il s'agit d'huile de pétrole, la seule capillarité suffit pour faire monter le liquide dans la mèche, et l'on peut supprimer toute espèce de mécanisme destiné à activer l'alimentation du bec.

La composition des huiles minérales, dans laquelle il entre à peine quelques traces d'oxygène, explique suffisamment la nécessité d'obtenir dans les appareils d'éclairage un tirage assez considérable, pour faire passer autour de la mèche la quantité d'air suffisante à la combustion complète du liquide. Cette condition ne peut être réalisée qu'à l'aide d'un bec et d'une cheminée d'appel convenablement étudiés. Une lampe à l'huile de pétrole comprendra donc trois parties : le réservoir, le bec et la cheminée d'appel, dont nous allons successivement étudier les formes et les détails d'exécution.

Le récipient placé à la partie inférieure est généralement de forme aplatie, de manière à diminuer autant que possible la hauteur d'ascension du liquide dans la mèche, lorsque le niveau vient à baisser dans le réservoir. Cette forme n'est cependant pas absolue, et l'on s'en écarte souvent sans grave inconvénient; pourvu toutefois que l'on n'exagère pas la hauteur du réservoir par rapport à ses dimensions transversales, on pourra très-bien lui substituer, par exemple, un récipient cylindrique. Quelle que soit d'ailleurs la forme adoptée, on pourra presque toujours constater une diminution dans l'intensité de la lumière au moment où la provision d'huile commence à s'épuiser. Cet effet deviendra d'autant moins sensible, il est vrai, que la profondeur du réservoir sera moins grande et dépendra beaucoup également de la nature de l'huile employée, mais le seul moyen d'éviter d'une manière complète cet abaissement du pouvoir éclairant serait de construire des appareils à niveau constant. Aussi croyons-nous devoir appeler l'attention sur cette question dont la solution constituerait un véritable progrès dans la construction des appareils d'éclairage.

Le plus généralement c'est le verre ou la porcelaine que l'on emploie pour la fabrication des récipients, en s'appuyant sur ce que le faible pouvoir conducteur de ces substances offre plus de garantie contre l'échauffement du réservoir qu'une enveloppe en métal, et que leur transparence plus ou moins grande permet de se rendre compte à chaque instant de

la position du niveau du liquide dans le récipient. Nous ne croyons pas qu'il faille réellement attacher à cette question toute l'importance qui lui a été donnée; le danger que peut présenter l'éclairage au pétrole dépend uniquement de la nature de l'huile sur laquelle il convient spécialement d'attirer l'attention du public et du fabricant. L'échauffement du réservoir, lorsqu'il se produit dans des limites convenables, est plutôt favorable à la bonne combustion de l'huile, et nous avons eu souvent l'occasion de constater, pendant l'hiver, que de deux lampes placées dans les mêmes conditions, sur une cheminée par exemple, et dont l'une avait un réservoir en métal, l'autre un récipient en verre ou en porcelaine, la première donnait une lumière plus vive. Quant à la nécessité de voir la position du niveau du liquide dans la lampe, elle dépend encore également de la nature de l'huile employée. Une huile de bonne qualité peut brûler sans inconvénient jusqu'à épuisement complet. Les récipients non métalliques sont d'ailleurs exposés à se briser sous l'action d'un choc, ce qui est un grave inconvénient pour les appareils destinés à être souvent transportés.

Le bec américain dont la fig. 35, pl. 15, représente une des nombreuses dispositions se compose de deux parties distinctes : le porte-mèche A et la capsule B souvent indépendants, quelquefois soudés ensemble à demeure. Le porte-mèche est terminé à la partie inférieure par une partie cylindrique, unie ou filetée, au moyen de laquelle il se fixe sur la douille en cuivre qui surmonte le réservoir. L'assemblage à vis serait préférable à l'assemblage par simple frottement, si les pas de vis étaient exécutés avec soin; mais il n'en est pas ainsi d'ordinaire. La douille du récipient est généralement composée d'un anneau recourbé et taraudé par simple emboutissage; de son côté le pas de vis du porte-mèche ne présente pas une exécution beaucoup plus soignée; et si l'on ajoute à cela que l'un et l'autre ne comptent guère plus de 3 ou 4 tours, on comprendra que la fermeture en question soit loin de présenter les garanties de solidité qu'on serait en droit d'exiger. Ce point est en effet capital, car c'est de lui que dépendent l'isolement du réservoir, la sécurité et la solidité de l'appareil tout entier; nous ne comprenons donc pas que l'on ait jusqu'ici négligé d'une manière aussi complète la construction de cet assemblage. Aussi préférons-nous les emmanchements à douille simple, tant qu'on n'aura pas apporté à la fabrication des ajustements à vis les perfectionnements dont nous venons de signaler la nécessité.

La gaîne qui maintient la mèche doit se prolonger aussi bas que possible à la partie inférieure, de manière à la mieux isoler. La molette qui sert à monter et descendre la mèche laisse également beaucoup à désirer en général, et nous pourrions faire sans inconvénient à tout l'ensemble du bec le reproche que nous avons adressé tout d'abord à la partie formant l'emmanchement sur le récipient.

Dès l'origine de l'éclairage à l'huile de pétrole, on a cherché à construire des appareils aussi économiques que possible. Cette condition semblait nécessaire pour attirer sur le nouveau mode d'éclairage la faveur du public; mais aujourd'hui que l'on en a pu apprécier tous les avantages, il n'y a pas de raison pour ne pas apporter dans cette construction les perfectionnements qui semblent indispensables. Ce n'est pas à dire qu'il faille abandonner complétement le type économique dont nous ne saurions contester l'utilité, mais rien n'empêcherait de fabriquer également des becs plus soignés et plus solides pour les appareils de luxe. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'à côté de la lampe à bas pris, qui rend de si grands services dans les classes ouvrières, il se fait également un usage important d'appareils plus luxueux dont la valeur atteint souvent un chiffre assez élevé, et que jusqu'ici les uns et les *autres ont été* munis des mêmes becs.

Les cheminées en verre, adoptées pour les lampes à huile de pétrole, ont une forme particulière qui s'explique suffisamment par la grande quantité d'air nécessaire à la combustion de l'huile minérale et la forme de la mèche qui force la flamme à s'épanouir en éventail. De *cette* forme que prend la flamme, il résulte que les parois du verre sont inégalement chauffées, ce qui a conduit pour diminuer le nombre des ruptures à employer des cheminées aplaties à la hauteur du renflement.

Nous ne nous arrêterons pas sur les nombreuses dispositions proposées pour remplacer le bec américain à mèche plate, par le bec d'Argant à mèche ronde, et dont l'usage ne s'est pas beaucoup répandu jusqu'ici; mais avant de terminer cette question, nous parlerons encore des appareils connus sous le nom de *lampes éoliennes*, qui présentent l'avantage de supprimer l'emploi des cheminées en verre, et dont les uns sont destinés à l'éclairage domestique, et les autres réservés à l'éclairage des villes.

Dans les premiers, le tirage de la cheminée est remplacé par un courant d'air forcé, obtenu à l'aide d'un petit ventilateur actionné par un mouvement d'horlogerie.

La figure 36 représente en coupe l'appareil en question. On voit que la mèche ne plonge pas directement dans le réservoir, mais dans un cylindre central autour duquel vient passer le courant d'air forcé. Cette disposition que l'on rencontre également dans plusieurs autres systèmes de lampes (notamment celle de M. Mermet, dont l'usage est plus particulièrement réservé à l'éclairage aux huiles de schiste), a pour but d'empêcher l'échauffement du liquide contenu dans le réservoir et de distribuer l'air d'une manière régulière autour du bec. Il est à remarquer en outre que l'introduction du liquide se fait par le côté, à l'aide d'une ouverture fermée par un bouchon à vis, disposition également commune à d'autres appareils, et qui dispense de l'enlèvement du bec chaque fois que l'on a besoin de remplir de nouveau le réservoir. La lampe une fois

remontée peut marcher pendant six à huit heures, en donnant une flamme très-belle et très-éclairante.

Le seul reproche que l'on puisse faire à ces appareils est un léger vacillement de la flamme, et quelquefois une faible odeur résultant d'un combustion imparfaite. Ils se transportent du reste avec facilité, sans qu'il y ait à craindre de voir la flamme s'éteindre au moindre courant d'air, ainsi que cela a lieu pour les lampes ordinaires.

La seconde disposition présente des avantages réels au point de vue de l'éclairage public. La suppression du verre est, en effet, dans ce cas un point capital, ceux-ci se brisant avec la plus grande facilité lorsqu'ils se trouvent exposés aux intempéries de l'air, et la dépense considérable qu'entraîne dans ces conditions l'entretien des appareils est l'une des principales raisons qui ont porté un grand nombre de communes rurales à abandonner l'éclairage à l'huile minérale, après l'avoir mis à l'essai pendant un certain temps. Le récipient de la lampe en question est disposé sur le même principe que celui de la précédente : le tirage est obtenu au moyen d'une cheminée métallique, placée à la partie supérieure d'un globe en verre, d'un diamètre assez grand pour n'avoir pas à redouter sa rupture sous l'influence de la chaleur de la flamme. Un réflecteur annulaire, placé à la partie supérieure du globe, renvoie la lumière tout autour de la lampe.

Nous avons indiqué précédemment, d'une manière sommaire, les quelques applications qui ont été faites de l'huile de pétrole à l'éclairage des trains. Les obstacles que l'on a rencontrés venaient surtout de la difficulté de construire des appareils, avec lesquels on fut à l'abri de tout danger d'incendie. Ce danger ne provient pas tant de la rupture de la lampe en cas de collision entre deux trains, que de la difficulté de régler pendant la marche du train la hauteur de la mèche; car on ne peut songer en aucune façon à confier cette opération aux mains des voyageurs. Il arrive souvent, en effet, malgré tout le soin que peuvent apporter dans leur service les agents de la Compagnie, que les mèches des lampes se mettent à *filer ;* la flamme prenant peu à peu des proportions démesurées, le réservoir finit par s'échauffer, et il se forme, dans l'intérieur, des vapeurs dont l'inflammation détermine la rupture du corps de la lampe et communique le feu aux garnitures intérieures de la voiture. C'est à cet inconvénient qu'a tenté de remédier M. Berghausen, constructeur d'appareils d'éclairage à Cologne, en introduisant dans ses lampes une substance spéciale dont le conctact avec la flamme amène immédiatement son extinction. Cette substance se trouve renfermée dans une capacité annulaire placée au-dessus du réflecteur et traversée par des tubes en métal fusible destinés en temps ordinaire à amener l'air nécessaire à la combustion. Aussitôt que, par suite de l'inflammation du gaz, la chaleur intérieure atteint le degré de fusion des

tubes en métal fusible, ceux-ci se trouvent fondus et la substance anti-*inflammable* se précipite dans l'intérieur de la lampe. La même disposition est également appliquée aux lanternes d'avant et d'arrière des trains dont la figure 37, pl. 15, représente une coupe verticale. Le liquide anti-*inflammable* est renfermé dans les capacités *t* et *t'*, dont la première n'est séparée du corps de la lampe *l* que par un anneau en métal fusible.

On remarque, en outre, dans cette lanterne une autre disposition particulière, destinée à mettre la flamme à l'abri de l'action que produisent sur elle les oscillations du niveau de l'huile dans le réservoir, dues aux trépidations du véhicule. A cet effet, le récipient destiné à recevoir le liquide se trouve divisé en deux parties par une toile métallique très-fine *p*, contre laquelle est fixée une éponge. La capacité supérieure *n* est d'ailleurs traversée par plusieurs cloisons O.

Comme on a généralement reconnu qu'en cas de collision, les lampes à huile minérale s'éteignaient brusquement sous la seule influence du choc, M. Berghausen a pensé devoir faciliter cette extinction par l'arrivée d'un violent courant d'air froid. A cet effet, le capuchon qui recouvre la lanterne, mobile autour d'une charnière horizontale, n'est retenu qu'au moyen d'un simple ressort assez faible, et surmonté d'un contre-poids en plomb X, dont la puissance vive agissant au moment du choc, le force à s'ouvrir et à donner ainsi accès à l'air dans l'intérieur de la lanterne. Cette même disposition est également appliquée aux lampes de wagon.

Emploi des huiles lourdes pour le graissage. — On a depuis longtemps cherché à utiliser, pour le graissage, les huiles lourdes dont la densité trop élevée s'oppose à leur emploi comme huiles d'éclairage. C'est au point de vue du graissage des fusées de wagons que cette question présenterait un intérêt réel, eu égard à l'importance de la consommation; mais, outre que ces huiles jouissent de propriétés légèrement oxydantes, elles présentent une trop grande fluidité et se décomposent avec trop de facilité sous l'influence de l'échauffement des fusées pour donner un bon graissage; aussi les essais qui ont été entrepris à ce sujet par quelques-unes de nos grandes compagnies de chemins de fer n'ont-ils pas abouti jusqu'ici à des résultats bien satisfaisants[1].

Une application plus pratique de l'huile de pétrole au graissage des boîtes de wagon a été proposée par M. le docteur Zuiruck, chimiste

1. Il paraîtrait qu'en Amérique, au contraire, l'emploi de l'huile de pétrole pour le graissage des fusées de wagons est d'un usage assez répandu. Nous ne possédons malheureusement pas sur cette application les données nécessaires pour pouvoir nous rendre compte de cette différence, mais il est à supposer que les huiles employées au graissage proviennent de sources spéciales dont les produits n'ont pas encore été introduits sur nos marchés.

Berlin [1]. On sait, en effet, que l'épaississement des huiles végétales employées au graissage des véhicules de chemins de fer rend leur emploi incommode, à quelques degrés au-dessous de zéro. M. Zuireck a donc cherché à assurer dans ces circonstances la fluidité de ces huiles, en y ajoutant une matière susceptible de se maintenir liquide à une basse température, et dont les propriétés ne s'opposassent pas à son emploi comme agent de lubréfaction. L'huile de pétrole lui a seule paru répondre à ces conditions, et il a combiné ainsi les mélanges suivants, qui présentent les propriétés demandées.

Huile de colza.	Huile de pétrole raffinée.	Température de concrétion au-dessous de zéro.
95 p. 100	5 p. 100	8 à 9° centigr.
90 —	10 —	10 à 12° —
85 —	15 —	15 à 16° —
80 —	20 —	19 à 20° —

M. Goschler, qui cite les expériences de M. Zuireck [2], ajoute qu'il serait intéressant d'avoir quelques renseignements sur la manière dont ces mélanges se comporteraient dans la pratique, car l'extrême fluidité des huiles de pétrole les rend en effet tout à fait impropres au graissage. A la température ordinaire, un mélange de 90 parties d'huile de colza et 10 parties d'huile de pétrole n'a plus la viscosité nécessaire. L'huile lourde de pétrole peut toutefois être employée dans certains cas, en vertu de la propriété qu'elle possède de dissoudre les matières résineuses, et que l'on peut mettre à profit pour enlever, en partie, à une huile ses propriétés siccatives.

1. *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnbauwesens*, 1865. 3e et 4e cahier.
2. *Traité de l'exploitation des chemins de fer*. 2e partie, tome III.

QUATRIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT.

I

PRIX DE REVIENT DES HUILES BRUTES.

Considérations générales. — Plusieurs conditions peuvent influer sur le prix de revient des matières brutes. En premier lieu, il faut tenir compte des frais d'extraction, variables selon la nature de la source dont on dispose; la composition des terrains, qui rend le fonçage et l'entretien des puits plus ou moins dispendieux, mérite également d'être prise en considération. Il faut y ajouter le prix des barils dans lesquels on expédie l'huile brut, et les frais de transport depuis le lieu de production jusqu'à l'usine d'épuration.

Transport et coulage de route. — La presque totalité des pétroles bruts qui alimentent les raffineries de France viennent des États-Unis de l'Amérique du Nord, par navires à voile; cette longue traversée pendant laquelle les barils de pétrole se trouvent empilés les uns sur les autres, le plus souvent sur 4 ou 5 rangées horizontales, ne s'effectue pas toujours sans que le navire ait à essuyer quelque coup de mer. Dans les circonstances les plus favorables, le mouvement de roulis et de tangage qui projette incessamment les barils les uns contre les autres, et l'action de la chaleur solaire, qui fait dilater le liquide qu'ils contiennent, ont pour résultat inévitable de produire un coulage assez important sur la cargaison. On a pu constater dans le port du Havre des différences de poids atteignant jusqu'à 50 °/₀ du poids du pétrole brut embarqué aux États-Unis. Ce fait ne se présente heureusement pas souvent, mais un coulage de 8 à 10 °/₀ pendant la traversée est un fait assez normal.

Aussi a-t-on songé à construire des navires en fer, à compartiments uniquement destinés au transport des huiles brutes d'Amérique en Europe, et il est probable que cette idée aurait été appliquée d'une manière courante, si la quantité de ces matières transportées n'avait pas diminué considérablement dans ces dernières années, tandis que le transport des huiles épurées prenait au contraire une grande extension.

Sur terre, le transport des huiles brutes s'effectuerait avec avantage dans des wagons en fer analogues à ceux que l'on a construits sur quelques lignes de chemins de fer pour le transport des goudrons de gaz. Si l'exploitation du pétrole brut en Galicie, en Hanovre, ou même en France, acquiert d'ici à quelques années une certaine extension, il est à désirer que l'on fasse usage de ce mode de transport qui évitera les pertes considérables qu'éprouvent aujourd'hui les barils de pétrole brut transportés par chemin de fer.

Comme exemple des frais qu'ont à subir les pétroles venant d'Amérique, nous donnerons les prix de revient d'une cargaison de 1201 barils de pétrole brut, expédiés de New-York à Rouen, avec transbordement du Havre.

A l'arrivée au Havre, après avoir fait le plein des fûts, le nombre des barils pleins descendit à 1098, ce qui représentait un coulage de 8 1/2 °/₀ pendant la traversée.

Voici maintenant le compte du prix de revient à Rouen 0/0 kilog.

Prix d'achat à New-York.			fr. 47 17
Coulage de New-York au Havre	fr. 4 42		
Frais de réception et de tonnellerie au Havre.	2 70		
Transport par eau, du Havre à Rouen (y compris le coulage).	1 40		
	8 52		8 52
Prix à Rouen °/₀ kilog.			55 69

La différence entre le prix d'achat et le prix de revient à destination a donc été de 8 52, soit environ 1/6 en plus, dû en majeure partie au coulage pendant la route.

On comprend d'après cela toute l'importance de cette question dans le compte du prix de revient des huiles brutes; il faut remarquer en outre qu'en conservant les barils en magasin sans les vider pendant un certain temps, on augmente encore le coulage d'une manière importante. Cette perte a été évaluée, à Marseille, dans les magasins des docks, à 7 1/2 °/₀ pour un magasinage de 4 mois.

En prenant quelques précautions dans l'arrimage des barils, et en les recouvrant de terre ou de sable, de manière à les soustraire autant que faire se peut à l'action du soleil et à prévenir l'évaporation, on arrive à diminuer quelque peu le déchet; cependant, même en prenant la précaution de vider immédiatement les barils après leur arrivée, dans des réservoirs en fer, on ne supprime pas complétement le coulage, quoiqu'on arrive ainsi à le réduire d'une manière considérable. L'emploi des réservoirs du système Ckiandi, que nous avons précédemment décrit, serait le

moyen d'arriver au résultat le plus avantageux, peut-être même d'annuler complétement les pertes de liquide, ainsi que le suppose l'auteur. (IIe partie, ch. II, § 6.)

II

PRIX DE REVIENT DES PRODUITS ÉPURÉS

Le prix de revient des huiles épurées varie naturellement beaucoup, suivant la nature des huiles brutes dont on fait usage, et le traitement plus ou moins dispendieux qu'elles nécessitent. Aussi n'est-il guère possible de fixer des bases bien certaines. Lorsqu'il s'agit de pétroles bruts de bonne qualité, tels, par exemple, que ceux de Pensylvanie, dont le traitement n'exige pas des opérations très-compliquées, et dont le rendement en huile d'éclairage varie entre 65 et 70 %, on peut dire que le prix de cette dernière doit égaler celui de l'huile brute, augmenté de 25 à 30 fr. % kil. Ainsi le prix du pétrole brut est-il de 45 fr. % kil., celui de l'huile d'éclairage pourra être fixé à 70 ou 75 fr. % kil., soit 56 à 60 fr. l'hectolitre. Mais il est évident que si l'on a à travailler des pétroles de qualité inférieure, auxquels il faille faire subir plusieurs distillations successives, et dont on ne puisse attendre qu'un rendement de 50 à 60 % en huile d'éclairage, le rapport précédent ne sera plus applicable, et qu'il faudra avant tout se rendre compte d'une manière exacte de tous les frais qu'entraînera cette opération.

Voici le prix de revient, détaillé, de la distillation de 1,165,166 kilog. d'huile brute de Pensylvanie, en supposant que l'on emploie des appareils intermittents.

1,165,166 kil. de pétrole brut, à 50 fr. p. 100 kil.	fr.	582,583 00
385,900 — de houille, à 33 fr. la tonne		12,734 70
18,004 — de coke, à 25 fr. la tonne		450 25
Divers		250 45
Main-d'œuvre et menus frais		10,129 75
Frais d'entretien et de réparation		277 35
Frais généraux		16,274 40
Valeur de 34,330 kil. de pétrole brut, représentant le coulage dans les silos pendant la durée de la campagne		17,119 80
Total		639,899 70[1]

1. Ce qui fait 54.90 pour 100 kilos. Soit une différence de 4 fr. 90 pour 100 kilog. sur le prix du pétrole brut.

Le rendement correspondant étant de :

221,976 kilos d'essence brute,
781,442 — huile à brûler (brute),
32,534 — huile lourde,
79,630 — graisse verte,
18,786 — de coke.

Redistillation de l'huile lourde. Prix de revient pour 22,865 kil. d'huile lourde :

22,865 kil. d'huile lourde, à 39 fr. 58 p. 100 kil. . .	9038 65
10,000 — de houille à 33 fr. la tonne.	330 »
Main-d'œuvre.	310 45
Frais généraux.	400 »
Total.	10,083 25

Le rendement de cette opération étant le suivant :

16,974 kil. d'huile à brûler (2e qualité),
561 — d'huile lourde,
2,980 — de graisse verte,
650 — de coke.

En tenant compte des frais de traitement dus à l'épuration des huiles et des essences on peut arriver à établir ainsi qu'il suit le prix de revient du traitement total de 100 kilos de matière brute :

Frais de distillation de 100 kilos de pétrole brut. . .	4f,90
Épuration de 18k,75 d'essence	0 73
do de 67,45 d'huile à brûler	1 75
Redistillation de 2,83 d'huile lourde	0 13
Épuration de 2k,1 d'huile de 2me qualité.	0 06
Total.	7f,57

Voici d'autre part un compte de prix de revient qui nous a été communiqué par M. Gardy.

Traitement de 720,000 kil. de pétrole brut :

720,000 kil. de pétrole brut, à 56 fr. p. 100 kil. . . .	403,200 »
27,000 — d'acide sulfurique à 20 fr. p. 100 kil. . .	5,400 »
5,400 — de soude caustique, à 30 fr. p. 100 kil. .	1,620 »
108,000 — de houille, à 25 la tonne.	2,700 »
Main-d'œuvre.	4,200 »
Amortissement et frais généraux.	8,000 »
Intérêt 5 % d'un capital estimé à 80,000 fr.	4,000 »
Total.	429,120 »

Le produit correspondant étant de :

540,000 kil. d'huile à brûler épurée,
188,000 — d'essence épurée.

Le total ci-dessus représentant un prix de 69,32 pour 100 kilos de pétrole brut, les frais de traitement, défalcation faite du prix de la matière première, s'élèvent donc à 13f,32 les 100 kilos.

Voici, en dernier lieu, le prix de revient du traitement complet, en supposant que l'on fasse usage des appareils à distillation continue :

Frais de traitement complet pour 100 kilos de pétrole brut.

Distillation de 100 kilos de pétrole brut, à 0f,92 les 100k	0,92
Épuration de 11k,30 d'essence brute, à 2f,60 les 100k	0,30
Distillation de 86k,31 de pétrole désessencié, à 1f,97 les 100k. .	1,69
Épuration de 75k,80 d'huile à brûler, à 2f,60 les 100k.	1,98
Distillation de 28k,24 d'huile lourde, à 2f,74 les 100k	0,77
Épuration de 22k,40 d'huile, à 0,820, à 2f,06 les 100k.	0,46
Redistillation de 21k,53 d'huile, à 0,820 épurée, à 1f,97 les 100k.	0,42
Frais de tonnellerie pour 72k,52 d'huile à brûler épurée	0,96
— pour 10k,95 d'essence épurée.	0,16
Total.	7,66

Cette même évaluation peut être exprimée sous une autre forme, de la manière suivante :

Frais de traitement pour 100 kilos de pétrole brut.

Main-d'œuvre.	1f 08
Charbon	1 37
Soude et acide sulfurique	0 72
Frais généraux et divers	3 37
Tonnellerie	1 12
Total.	7f 66

III

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'INDUSTRIE DES HUILES MINÉRALES.

Il ne faut pas se dissimuler que l'industrie dont nous venons de nous occuper repose actuellement encore presque entièrement sur les produits bruts que nous envoie l'Amérique du Nord.

Si dans le courant de ce mémoire nous avons appelé l'attention sur quelques pays de production plus rapprochés de nos frontières, c'est

afin de bien montrer que l'existence des huiles minérales naturelles ne se trouvait pas uniquement restreinte aux contrées de l'Amérique du Nord, comme beaucoup de personnes semblent le croire encore aujourd'hui, et que l'importance de nos gisements européens mérite d'attirer sur leur exploitation l'attention des ingénieurs et des industriels. Il n'en est pas moins vrai que jusqu'ici les produits de la Valachie, de la Galicie et du Hanovre représentent une bien faible proportion de la quantité totale du pétrole brut consommé sur les marchés de France et d'Angleterre. La conséquence fatale de cette dépendance a été de faire subir à l'industrie de la distillation des huiles minérales depuis son origine, qui ne remonte pas à plus d'une dizaine d'années, une série de fluctuations correspondantes à celles des importations de matières premières et qui ont, en dernier lieu, porté un coup funeste à son développement.

Voici le relevé pour la France, des importations d'huiles brutes de pétrole et de schiste, pendant les années 1861-1867 :

1861	. . . . .	20,221,140 kilog.
1862	. . . . .	23,356,166 —
1863	. . . . .	9,475,118 —
1864	. . . . .	24,154,380 —
1865	. . . . .	14,149,871 —
1866	. . . . .	26,857,161 —
1867	. . . . .	12,705,882 —

En 1868, la port du Havre seul a importé 11,994,299 kilog.

La diminution dans l'arrivée du pétrole brut, qui a commencé en 1867 pour se continuer jusqu'à aujourd'hui, correspond à une augmentation dans les arrivages de pétroles raffinés. — Ce fait est le résultat naturel de la situation de cette industrie en France. Quelle que soit la matière brute que l'on ait à transformer, on aura toujours avantage à la traiter sur place afin d'éviter les frais de transports inutiles, et nous trouvons dans presque toutes les branches de l'industrie en général des exemples concluants de l'application de ce principe.

Aux siècles passés, les diverses industries se trouvaient pour ainsi dire localisées dans les contrées où, par suite de circonstances favorables à leur développement, elles avaient dû prendre naissance, par la force même des choses. Au moment où les perfectionnements apportés dans les procédés de transport par la construction des chemins de fer et des bateaux à vapeur vinrent faciliter les communications, on commença tout d'abord à profiter de ces nouveaux moyens, pour utiliser au profit des centres industriels alors existants, les richesses enfouies sur les points les plus éloignés du globe et que leur position, vu le manque de communications, avaient condamnées jusqu'alors à l'abandon le plus complet. —

Peu à peu on songea à transporter sur les lieux de production les instruments de travail, et l'on fonda sur le sol même le nouvel établissement qui devait en transformer les produits. De là une économie dans les transports, et par conséquent une réduction dans les prix de revient qui devait rencontrer la faveur du public.

Le même fait s'est présenté pour l'industrie des huiles de pétrole.

Nous avons examiné, au commencement de ce mémoire, les circonstances qui avaient amené en Amérique le rapide développement de l'extraction du pétrole. Aussitôt que l'on connut en Europe les produits des distilleries du Nouveau-Monde, et que l'on put apprécier la supériorité des huiles de pétrole sur les huiles de schiste, on songea à profiter de ces avantages en traitant ici même les produits bruts que l'on faisait venir d'Amérique. A cette époque, l'extraction du pétrole brut s'était développée immédiatement avec une telle rapidité que les usines établies tout d'abord aux États-Unis n'y pouvaient suffire, ce qui favorisait considérablement l'exportation de ce produit.

Malheureusement pour elles, les fabriques établies en Europe se trouvaient complétement tributaires d'un pays étranger, dans lequel l'industrie se développe avec une rapidité inconnue dans nos contrées. Il arriva un moment où l'exportation vint à diminuer et le prix des huiles de pétrole raffinées en Europe *doubla en quelques mois*, par suite de la rareté et de l'élévation du prix de la matière brute.

Les usines françaises se trouvaient alors dans l'impossibilité de renouveler leurs approvisionnements, et souvent même en présence de marchés à livrer à des prix qui dépassaient à peine celui des huiles brutes au même moment. Cette crise fut-elle le résultat d'une entente de la part des producteurs américains, désireux d'obtenir une hausse sur les produits de leur exploitation, ou simplement la conséquence naturelle de l'extension de l'industrie des huiles minérales en Amérique, c'est ce qu'il serait difficile de décider; peut-être même, ces deux causes ont-elles agi simultanément. Il faut remarquer d'ailleurs que, peu de temps auparavant, les acheteurs d'Europe avaient tenté de produire une baisse de prix sur la matière brute qui arrivait dans les ports d'Europe sans engagement préalable, et ce fait a peut-être influé sur les événements postérieurs.

Quoi qu'il en soit, à partir de ce moment l'importation des huiles raffinées en Europe prit une grande extension, et la concurrence que ces produits vinrent faire dès lors sur les marchés du continent à ceux des fabriques indigènes empêchera sans doute l'industrie des huiles minérales en Europe de se relever de cette crise.

Il est même probable que, tant que la production des États-Unis d'Amérique pourra suffire à la consommation, aucun changement favorable ne se produira. — Pour que les fabricants français puissent lutter contre la concurrence américaine, il faudrait qu'ils eussent à leur disposition des matières premières à bas prix, et rien ne fait prévoir aujour-

d'hui que ce résultat, qui dépend essentiellement de l'exploitation de nos gites pétrolifères, puisse être atteint dans un avenir prochain.

En admettant que les gisements de la Gallcie et du Hanovre, qui paraissent être jusqu'ici les plus importants de l'Europe, arrivent en quelques années à fournir des quantités importantes de pétrole brut, il est fort probable que cette production sera grandement absorbée par la consommation locale, et que si les sources d'Alsace ne viennent pas confirmer les espérances que quelques personnes ont pu fonder sur elles, l'industrie française restera tributaire des pays étrangers pour la consommation des huiles brutes de pétrole.

Aussi pensons-nous que la distillation des huiles de pétrole ne pourra jamais se faire en France à d'aussi bonnes conditions que dans les pays de production, et que l'industrie des huiles de pétrole ne reverra pas les beaux jours qu'elle a passés à l'origine de l'importation des produits américains. Le grand nombre d'usines qui ont dû abandonner ce genre de fabrication, pendant ces dernières années, semble malheureusement devoir confirmer cette opinion, sans qu'il soit possible d'entrevoir un changement dans un avenir prochain.

Serait-ce que la consommation des huiles raffinées dût diminuer? Nous ne le croyons pas. Quels que soient les obstacles qui ont arrêté pendant un certain temps et arrêtent encore aujourd'hui la généralisation de l'éclairage à l'huile de pétrole, il est constant que pour être lents les progrès n'en ont pas moins été réels, et il est à présumer que pendant longtemps encore il rendra de grands services dans les usages de la vie privée.

Trois causes pourraient évidemment arrêter l'essor de cette consommation :

1° L'épuisement des gisements de pétrole;
2° La découverte d'applications nouvelles et plus avantageuses de ces produits;
3° La généralisation de l'éclairage au gaz.

Il nous paraît difficile de répondre à la première. Jusqu'ici, ni la pratique de l'exploitation ni les hypothèses de la théorie ne peuvent nous fixer à cet égard, mais il paraît probable que nous pouvons compter longtemps encore sur cette production.

En ce qui est de la seconde question, nous avons examiné précédemment les principales applications que l'on pouvait actuellement assigner aux huiles de pétrole brutes, et nous avons vu que pour le moment l'emploi du pétrole brut, comme combustible et comme agent de production du gaz d'éclairage, se trouvait entièrement subordonné à son prix de revient, de telle sorte qu'il nous paraît impossible de voir actuellement dans ces applications une concurrence sérieuse à la fabrication des huiles d'éclairage, tout au moins en ce qui concerne la France. L'avenir

viendra peut-être plus ou moins prochainement changer ces circonstances, mais sans qu'il puisse actuellement être rien décidé à cet égard.

Quant à la dernière question, il ne faut pas se dissimuler son importance. Si aujourd'hui encore l'éclairage au pétrole semble pouvoir faire une concurrence heureuse à l'éclairage au gaz dans certaines localités, on ne peut méconnaître ni les avantages que présente ce dernier système, ni les progrès toujours croissants qu'il fait chaque année, et l'on doit s'attendre à le voir se substituer de plus en plus à tout autre moyen.

Nous croyons donc qu'il ne faut pas s'abuser sur la valeur de l'industrie dont nous venons d'étudier en détail les différentes opérations, ni se faire illusion sur l'avenir qui lui est réservé.

Toutefois, en admettant que la consommation des huiles *d'éclairage* vienne à diminuer plus promptement qu'on peut le supposer aujourd'hui, nous croyons qu'il ne manquera pas d'applications nouvelles, indépendamment de celles que nous avons déjà signalées, pour mettre à profit les produits des sources américaines et de nos gisements indigènes. Aussi ne saurions-nous trop appeler sur cette question l'attention des industriels et des ingénieurs. Quelques savants leur ont déjà donné l'exemple. Qu'ils les suivent dans cette voie, et de l'union de ces diverses forces surgiront sans aucun doute, à côté de la connaissance de faits nouveaux, d'heureuses applications restées encore inconnues aujourd'hui, mais que semblent nécessairement appeler les nombreuses et intéressantes propriétés des huiles de pétrole.

IV

DES DANGERS DE L'EMPLOI DES HUILES DE PÉTROLE.

Nous ne terminerons pas ce mémoire sans nous arrêter quelques instants sur une question qui a certainement son importance, en raison de l'influence qu'elle a exercée et qu'elle exerce encore sur la généralisation de l'emploi des huiles de pétrole dans toutes les applications que nous leur avons signalées dans le cours de ce mémoire, et qui trouve nécessairement sa place à la suite des considérations que nous venons d'exposer.

L'huile de pétrole est-elle d'un emploi dangereux pour la sécurité publique? Faut-il en proscrire l'emploi dans l'économie domestique, ainsi que plusieurs personnes ont semblé l'avoir admis?

En premier lieu, nous écarterons tout d'abord la supposition quelquefois émise de l'influence nuisible de l'huile de pétrole sur la santé des personnes qui sont appelées à la manipuler. Pendant tout le temps que

nous avons eu l'occasion de nous occuper du traitement industriel des huiles de pétrole, nous n'avons eu à constater, chez les ouvriers chargés de ce travail, aucun symptôme alarmant dont la cause pût être attribuée à l'action de ce liquide sur l'économie animale.

Les vapeurs hydrocarburées qu'émettent ces différents liquides à la température ordinaire et principalement les huiles légères, connues sous le nom d'essences, sont douées, il est vrai, de propriétés anasthésiques assez violentes, et il pourrait être dangereux de séjourner dans un réservoir insuffisamment aéré, contenant encore une certaine couche de liquide ou ayant même été récemment vidé; mais cette situation est évidemment anormale et ne saurait être portée ici en ligne de compte. Il en est de même de l'influence exercée par les gaz qui s'échappent durant la distillation. Quel que soit le soin que l'on prenne pour donner issue aux gaz incondensables qui se forment pendant la durée de cette opération et les rejeter dans l'atmosphère, en dehors des salles où s'opère la condensation des liquides, ceux-ci émettent toujours au moment de leur sortie du serpentin une certaine quantité de vapeurs dans lesquelles la présence des hydrogènes sulfurés et arseniés se révèlent par leur odeur particulière.

C'est à cette circonstance qu'il faut, sans doute, attribuer les douleurs d'entrailles que ressentent quelquefois les ouvriers pendant les premiers jours de leur service dans l'usine. Toutefois ce malaise passager qui n'atteint jamais un degré d'intensité bien prononcé, ne semble exercer aucune influence ultérieure sur leur santé.

En dehors de ces deux faits exceptionnels, nous n'avons jamais constaté d'action nuisible des huiles de pétrole sur l'organisme et nous ne croyons pas qu'on ait signalé, d'autre part, un exemple qui puisse venir mettre en doute l'innocuité des huiles de pétrole.

Arrivons à la question principale, et examinons si les accusations portées, à un autre point de vue, contre les huiles de pétrole sont mieux fondées, si les accidents qu'on leur attribue sont bien le fait de leurs propriétés spéciales, et si nous devons continuer à les considérer comme des produits dangereux au premier chef.

Il faut tout d'abord distinguer le genre de produits auxquels on a affaire.

Supposons qu'il s'agisse de l'huile brute ordinaire, à la densité de 0,800 à 0,820, telle que celle qui sert journellement comme matière première dans nos usines des environs de Paris. Il est parfaitement évident qu'une telle huile qui contient 10, 15 et quelquefois même 20 pour 100 d'hydrocarbures légers, distillant entre + 30 et + 150°, émettra à la température ordinaire une quantité plus ou moins grande de vapeurs inflammables, et qu'on ne saurait trop prendre de précautions pour soustraire les récipients qui la contiennent au voisinage d'un foyer de combustion quelconque.

La plus simple prudence exige que l'on s'abstienne d'entrer avec une lumière dans une salle renfermant un certain nombre de barils de pétrole brut, et cette précaution est surtout utile à observer dans les navires chargés de cette matière, ou dans les docks et entrepôts qui contiennent si souvent dans leurs magasins des quantités considérables de ces barils.

C'est, sans aucun doute, pour avoir négligé ce principe, si simple à observer cependant, que l'on a eu à déplorer dans ces dernières années tant de sinistres importants dont la conséquence fatale a été de jeter dans le public un effroi démesuré pour le produit qui en était indirectement la cause, et d'augmenter ainsi la défaveur dont il est entouré dans l'opinion générale. Personne ne se fait cette réflexion, cependant naturelle, que si les barils, au lieu d'avoir contenu des huiles de pétrole, eussent renfermé des alcools, des essences de térébenthine ou tout autre produit analogue, l'effet eût été absolument le même, et n'aurait cependant, fort probablement, nullement influencé la consommation de ces substances.

Si, au lieu d'avoir affaire au pétrole brut, il s'agit des produits de la distillation, il faut encore établir une distinction entre les diverses espèces d'huiles que l'on en retire.

Les *essences* peuvent être comparées, au point de vue de l'inflammabilité, aux éthers, alcools, essences végétales (térébenthine, etc.), et leur manipulation exige, de la part de ceux qui en sont chargés, les mêmes soins et la même prudence que s'il s'agissait d'une des substances auxquelles nous venons de les comparer.

Quant aux huiles à brûler, si elles sont de bonne qualité, exemptes de toute falsification, si elles rentrent, en un mot, dans les conditions que nous avons signalées précédemment (IIIe partie, chap. II, § II), elles peuvent être employées sans danger.

Il convient, sans doute, de ne jamais oublier que cette matière est facilement inflammable et qu'il faut, autant que possible, la mettre à l'abri de toute chance d'incendie, mais les mesures de prudence peuvent se résumer sans inconvénient à quelques précautions bien faciles à suivre pour le consommateur.

En plaçant le baril de pétrole dans une cave ou dans un local ne contenant ni poêle ni cheminée, en ayant soin de ne remplir les lampes qu'après les avoir éteintes, de ne pas approcher pendant cette opération la flamme d'une bougie trop près de l'orifice du récipient duquel on extrait le liquide, on évitera certainement le plus grand nombre des accidents, qui sont presque toujours le résultat de quelque imprudence.

Malheureusement, il faut également faire la part des fraudes que l'on commet dans le commerce de ces produits; et les falsifications des huiles de pétrole par les essences sont certainement une source de dange

toutefois qu'il est bien difficile d'établir un contrôle administratif efficace sur la vente de ces produits, et il en résulte nécessairement, pour le consommateur, l'obligation de se rendre compte par lui-même de la valeur de l'huile dont il fait usage. Un simple essai, à l'aide d'une allumette enflammée, suffira d'ailleurs dans la plupart des cas pour le fixer à ce sujet, et cette expérience est assez facile à exécuter pour qu'elle soit à la porté de tout le monde.

Dans ces conditions, le danger n'existant que si l'huile est sophistiquée, et la preuve de cette falsification pouvant ressortir d'un essai aussi simple, il n'y a pas d'excuse admissible pour le consommateur qui néglige cette précaution véritablement élémentaire.

SUPPLÉMENT.

DE QUELQUES APPLICATIONS SECONDAIRES DE L'HUILE DE PÉTROLE ET DE SES DÉRIVÉS.

Vulcanisation du caoutchouc. — M. Humphrey a *proposé* l'emploi de l'huile de pétrole à la vulcanisation du caoutchouc, basé sur la propriété qu'elle présente de dissoudre le chlorure de soufre. Cette dissolution se fait habituellement à l'aide du sulfure de carbone, dont l'emploi exerce une influence fâcheuse sur la santé des ouvriers qui sont chargés de ce travail. La substitution de l'huile de pétrole au sulfure de carbone, tout en n'amenant aucune réduction dans le prix de revient de l'opération, aurait cet avantage de supprimer tout danger pour les ouvriers.

Graissage des robinets de vapeur. — Le graissage des robinets de vapeur est, comme on le sait, très-difficile à maintenir d'une manière satisfaisante. Cet inconvénient se fait surtout sentir dans les appareils de sûreté et les injecteurs annexés aux chaudières à vapeur, et principalement sur les locomotives. Un ingénieur du chemin de fer de Genève à Lausanne, nous a dit qu'il employait depuis plusieurs années avec succès une dissolution de caoutchouc dans l'huile de pétrole pour graisser les robinets de ses machines. Il fait simplement dissoudre un morceau de gomme élastique dans une certaine quantité d'huile de pétrole épurée, telle qu'on la trouve dans le commerce, et, après avoir trempé dans le liquide ainsi préparé les robinets de ses injecteurs, ceux-ci résistent parfaitement à l'action corrosive de la vapeur et continuent à fonctionner avec la plus grande facilité, sans qu'il soit nécessaire de renouveler cette opération à des intervalles bien rapprochés.

Réaction sur les iodures. — L'huile de pétrole partage avec les alcools, éthers, huiles grasses et volatiles, la propriété de dissoudre l'iode en plus ou moins grande quantité.

Cette propriété peut être utilisée avantageusement pour déceler la présence de l'iode, libre ou combiné à l'état d'iodure, dans une dissolution même très-étendue.

Si à une liqueur renfermant un iodure quelconque en dissolution

ajoute quelques gouttes de pétrole du commerce (huile de pétrole raffinée) et quelques gouttes d'acide, on voit, par le repos, l'huile plus légère remonter à la surface entraînant avec elle l'iode qui la colore en rose. Cette teinte devient plus prononcée par l'addition d'une très-petite quantité de chlorure de chaux.

Extraction des huiles végétales. — Les propriétés dissolvantes des huiles légères de pétrole peuvent être mises à profit pour l'extraction des huiles grasse des graines oléagineuses, en employant une méthode analogue à celle qui est basée sur l'emploi de l'éther.

Il convient d'employer dans ce cas des huiles très-légères, distillant au-dessous de 100° centigrades. En introduisant les matières premières, graines oléagineuses ou tourteaux convenablement divisés, dans une série de récipients fermés et faisant passer au travers de ces matières une certaine quantité d'huiles légères de pétrole, de schiste ou de houille, on arrivera, en répétant l'opération un nombre suffisant de fois, à enlever la presque totalité de la matière grasse, que l'on pourra ensuite facilement retirer par une simple distillation à la vapeur des hydrocarbures qui l'avaient dissoute. Il est clair que l'application de ce procédé à l'extraction de l'huile des tourteaux mérite une certaine attention.

DÉCRET DU 18 AVRIL 1866

Concernant la fabrication et la vente des huiles minérales.

NAPOLÉON,

Par la grâce de Dieu et la volonté nationale, Empereur des Français :

A tous présents et à venir, salut.

Sur la proposition de notre Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics :

Vu les lois des 16-24 août 1790 et 19-22 juillet 1791 ;

Vu le décret du 15 octobre 1810 ;

Vu les ordonnances des 14 janvier 1815 et 9 février 1829 ;

Notre conseil d'État entendu,

Avons décrété et décrétons ce qui suit :

Article 1er. — Le pétrole et ses dérivés, les huiles de schiste et de goudron, les essences et autres hydrocarbures pour l'éclairage, le chauffage, la fabrication des couleurs et vernis, le dégraissage des étoffes, ou pour tout autre emploi, sont distingués en deux catégories, suivant leur degré d'inflammabilité.

La première catégorie comprend les substances très-inflammables, c'est-à-dire celles qui émettent à une température moindre de 35° du thermomètre centigrade les vapeurs susceptibles de prendre feu au contact d'une allumette enflammée.

La seconde catégorie comprend les substances moins inflammables, c'est-à-dire celles qui n'émettent de vapeurs susceptibles de prendre feu au contact d'une allumette enflammée qu'à une température égale ou supérieure à 35°.

Art. 2. — Les usines, pour la fabrication, la distillation et le travail en grand de toutes les substances comprises dans l'article 1er, sont rangées dans la première classe des établissements régis par le décret du 13 octobre 1810 et par l'ordonnance royale du 14 janvier 1815, concernant les ateliers dangereux, insalubres ou incommodes.

Art. 3. — Les dépôts de substances appartenant à la première catégorie sont rangés dans la première classe des établissements insalubres ou dangereux, s'ils contiennent, même temporairement, 1,050 litres ou plus desdites substances.

Ils sont rangés dans la deuxième classe lorsque la quantité emmagasinée, supérieure à 150 litres, n'atteint pas 1,050 litres.

Les dépôts pour la vente au détail, en quantité n'excédant pas 150 litres, peuvent être établis sans autorisation préalable. Toutefois, leurs propriétaires sont tenus d'adresser au préfet une déclaration indiquant la désignation précise du local, la quantité à laquelle ils entendent limiter leur approvisionnement, et de se conformer aux mesures générales énoncées dans l'art. 5 ci-après.

Art. 4. — Les dépôts de substances appartenant à la deuxième catégorie sont rangés dans la première classe des établissements insalubres ou dangereux, s'ils contiennent, même temporairement, 10,500 litres ou plus desdites substances.

Ils appartiennent à la deuxième classe, lorsque la quantité emmagasinée, supérieure à 1,050 litres, n'atteint pas 10,500 litres.

Les dépôts pour la vente au détail, en quantité n'excédant pas 1,050 litres, peuvent être établis sans autorisation préalable. Toutefois, leurs propriétaires sont tenus d'adresser au préfet une déclaration indiquant la désignation précise du local et la quantité à laquelle ils entendent limiter leur approvisionnement, et de se conformer aux mesures générales énoncées dans l'art. 5 ci-après.

Art. 5. — Les dépôts pour la vente au détail de substances de la première catégorie, en quantité supérieure à 5 litres et n'excédant pas 150 litres, et les dépôts de substances de la deuxième catégorie, en quantité supérieure à 60 litres et n'excédant pas 1,050 litres, qui, aux termes des articles 4 et 5, peuvent être établis sans autorisation préalable, sont assujettis aux conditions générales suivantes :

1° Le local du dépôt ne pourra être qu'une pièce au rez-de-chaussée ou une cave; il sera dallé en pierres posées et rejointoyées en mortier de chaux et sable ou ciment;

2° Les portes de communication avec les autres parties de la maison et avec la voie publique seront garnies de seuils en pierre saillant d'un décimètre au moins; le sol dallé, de manière à retenir les liquides qui viendraient à se répandre;

3° Si le dépôt est établi dans une cave, celle-ci devra être bien éclairée par la lumière du jour, convenablement ventilée et sans aucune communication avec des caves voisines, dont elle sera séparée par des murs pleins en maçonnerie solide, de 30 centimètres d'épaisseur au moins;

4° Si le local du dépôt est au rez-de-chaussée, il ne pourra être surmonté d'étages; il sera largement ventilé et éclairé par la lumière du jour. Les murs seront en bonne maçonnerie et la toiture sera sur supports en fer;

cation avec aucune pièce servant à l'emmagasinage du bois ou autres matières combustibles qui pourraient servir d'élément à un incendie ;

6° Les liquides seront conservés soit dans des vases en métal munis d'un couvercle, soit dans des fûts solides et parfaitement étanches, cerclés en fer, dont la capacité ne dépassera pas 150 litres, soit dans des touries en verre ou en grès, revêtues d'une enveloppe en tresses de paille, osier ou autres matières de nature à mettre le vase à l'abri de la casse par le choc accidentel d'un corps dur ; la capacité de ces touries ne dépassera pas 60 litres : elles seront très soigneusement bouchées ;

7° Les vases servant au débit courant seront fermés et munis de robinets ;

8° Le transvasement ou dépotage des liquides en approvisionnement ne se fera qu'à la clarté du jour, et autant que possible au moyen d'une pompe ;

9° Dans la soirée, le local sera éclairé par une ou plusieurs lanternes fixées aux murs en des points éloignés des vases contenant les liquides inflammables, et particulièrement de ceux qui serviront au débit courant ;

10° Il est interdit d'y allumer du feu, d'y fumer ou d'y garder des fûts vides, des planches ou toutes autres matières combustibles ;

11° Une quantité de sable ou de terre, proportionnée à l'importance du dépôt, sera conservée dans le local, pour servir à éteindre un commencement d'incendie s'il venait à se déclarer ;

12° Le propriétaire du dépôt devra toujours avoir à sa disposition une ou plusieurs lampes de sûreté, garnies et en bon état, dont on se servirait au besoin pour visiter les parties du local, que les lanternes fixées aux murs n'éclaireraient pas suffisamment. Il est expressément interdit de circuler dans le local avec des lumières portatives découvertes qui ne seraient pas de sûreté, et pourraient communiquer le feu à un mélange d'air et de vapeurs inflammables.

Les marchands en détail, dont l'approvisionnement est limité à 5 litres de substances de la première catégorie, seront tenus d'observer les mesures de précaution qui, dans chaque cas, leur seront indiquées et présentées par l'autorité municipale.

Art. 6. — Les dépôts qui ne satisferaient point aux conditions présentes ci-dessus, ou qui cesseraient d'y satisfaire, seront fermés sur l'injonction de l'autorité administrative, sans préjudice des peines encourues pour contravention aux règlements de police.

Art. 7. — Le transport de toutes les substances comprises dans l'art. 1er, en quantité excédant 5 litres, sera fait exclusivement soit dans des vases en tôle, en fer-blanc ou en cuivre, bien étanches et hermétiquement clos, soit dans des fûts en bois parfaitement étanches, cerclés en fer, dont la capacité ne dépassera pas 150 litres, soit dans des touries ou bombonnes en verre ou en grès, de 60 litres de capacité ou plus, bouchées et enveloppées de tresses de paille, osier ou autres matières de nature à mettre le vase à l'abri de la casse.

Art. 8. — Notre Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait au palais des Tuileries, le 18 avril 1866.

NAPOLÉON.

Par l'Empereur :

Le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics,

ARMAND BÉHIC.

INSTRUCTION *concernant l'emploi des huiles de pétrole destinées à l'éclairage, approuvée par le préfet de police, le 29 juin 1864.*

« L'emploi de l'huile de pétrole présentant des dangers, il importe de faire connaître au public les précautions à prendre pour les éviter.

« L'huile de pétrole, convenablement épurée, est à peu près incolore. Le litre ne doit pas peser moins de 800 grammes. Elle ne prend pas feu immédiatement par le contact d'un corps enflammé.

« Pour constater cette propriété essentielle, l'on verse du pétrole dans une soucoupe et l'on touche la surface liquide avec la flamme d'une allumette; si le pétrole a été dépouillé des huiles légères très-combustibles, non-seulement il ne s'allume pas, mais, si l'on y jette l'allumette enflammée, elle s'éteint après avoir continué à brûler pendant quelques instants.

« Toute huile minérale destinée à l'éclairage, qui ne soutient pas cette épreuve, doit être rejetée comme pouvant donner lieu, par son usage, à des dangers sérieux.

« L'huile de pétrole, alors même qu'elle ne renferme plus les essences légères, dites *naphtes*, qui lui communiquent la faculté de s'allumer au contact d'une flamme, n'en est pas moins une des matières les plus combustibles que l'on connaisse; si elle imbibe des tissus de lin, de coton ou de laine, son inflammabilité est singulièrement exaltée; aussi son emmagasinage, son débit, exigent-ils une grande circonspection. L'huile de pétrole doit être conservée ou transportée dans des réservoirs ou dans des vases en métal. Les dépôts doivent être éclairés par des lampes de sûreté.

« *Lampes.* — Une lampe, destinée à brûler du pétrole ou toute autre huile minérale, ne doit avoir aucune gerçure, aucune fêlure établissant une communication directe avec l'enceinte où la mèche fonctionne. Le réservoir doit contenir plus d'huile que l'on n'en peut brûler en une seule fois, afin que la lampe ne puisse pas être vide pendant qu'elle brûle.

« Les réservoirs en matières transparentes, comme le verre, la porcelaine, sont préférables, parce qu'ils permettent d'apprécier le volume de l'huile qui y est contenue.

« Les parois des réservoirs doivent être épaisses, les ajutages qui les surmontent doivent être fixés, non pas à simple frottement, mais par un mastic inattaquable par les huiles minérales.

« Le pied des lampes doit être lourd, et présenter assez de base pour donner plus de stabilité et diminuer les chances de versement.

« *Emploi de l'huile dans les lampes.* — Avant d'allumer une lampe, on doit la remplir complétement, et ensuite la fermer avec soin.

« Lorsque l'huile est sur le point d'être épuisée, il faut éteindre et laisser refroidir la lampe avant de l'ouvrir pour la remplir. Dans le cas où l'on voudrait introduire l'huile dans la lampe éteinte avant son complet refroidissement, il est indispensable de tenir éloignée la lumière avec laquelle on éclaire pour procéder à cette opération.

« Si le verre d'une lampe vient à casser, il faut éteindre immédiatement, afin de prévenir l'échauffement des garnitures métalliques; cet échauffement, quand il atteint

une certaine intensité, vaporise l'huile contenue dans le réservoir ; la vapeur peut prendre feu, déterminer une explosion entraînant la destruction de la lampe et par suite l'écoulement d'un liquide toujours très-inflammable et souvent même déjà enflammé.

« Le sable, la terre, les cendres, le grès, sont préférables à l'eau pour éteindre les huiles minérales en combustion.

« *Brûlures.* — En cas de brûlures et avant l'arrivée d'un médecin, il sera très-utile de couvrir les parties blessées avec des compresses imbibées d'eau fraîche et souvent renouvelées.

Les membres de la commission :

BOUDET,
CHEVALIER,
BOUSSINGAULT, *rapporteur.*

Lu et approuvé dans la séance du 20 mai 1864.

Pour le Vice-président : CHEVALIER.
Le Secrétaire : TRÉBUCHET.

CATALOGUE

DES

OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Agriculture.

DRAINAGE.

Drainage et assainissement des terres, par M. J. Naville.
Drainage (Manuel du), par M. J. Leclerc.
Drainage (Commentaire de la loi des 17-23 juillet 1856 sur le), par M. L. Tripier.
Drainage et irrigations, par M. Longpérier.
Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Drainage (Opérations de), entreprises en Belgique.
Dessécher (Études pratiques sur l'art de), par M. Ch. de Bryas.
Guide du draineur, par M. Faure.

GÉNÉRALITÉS.

Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. Gasparin).
Comité central agricole de la Sologne. (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1861.)
Élagages des arbres, par M. le comte Des Cars.
Industries agricoles, par M. Ronna.
Procès-verbal de la réunion du comice agricole de l'arrondissement de Provins.
Traité d'agronomie, d'agriculture et d'économie agricole, par M. J. Burger.

DIVERS.

Assainissement (Projet d') de la ville de Bruxelles, par la suppression radicale de l'insalubrité de la Senne, par la collecte sur place des engrais humains, et leur restitution intégrale à l'agriculture, par M. L. Renard.

Compte rendu des travaux et des résultats du service des eaux d'égouts de la ville de Paris, par M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées.

Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyère.

Conservation (Sur la) des grains par l'ensilage, par M. Léon Malo.

Conservation (Sur la) des grains, par M. Delonchant.

Conservation des grains et des graines en magasins, par M. Urbain.

Culture maraîchère, par M. Courtois-Gérard.

Culture des mûriers et l'éducation des vers à soie, par M. Stanislas Julien.

Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.

Eaux d'égouts de la ville de Paris (Compte rendu des essais d'utilisation et d'épuration des), par M. Durand-Claye.

Eaux d'égouts (Emploi des), par M. Ronna.

Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par M. Pouriau.

Engrais (Annuaire des) et des amendements, par M. Rohart.

Engrais (Fabrication économique des), par M. Rohart.

Épuration des eaux de la ville de Reims, par les procédés Houzeau et Devedeix.

Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier, Porro Félix, et Porro Ignace.

Guide de chimie agricole, par M. Basset.

Habitations ouvrières et agricoles, par M. Émile Muller.

Labourage à vapeur (Rapport du jury au concours international de Roanne), par M. Pépin-Lehalleur.

Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.

Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.

Manége Pinet (Rapport sur le).

Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.

Phosphates de chaux en Angleterre, par M. Ronna.

Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.

Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.

Progrès de l'agriculture moderne dans la plaine des Fossés, par M. le marquis de Poncis.

Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.

Registre des chevaux pur sang.

Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.

Tarif et prix du règlement des travaux de jardinage, par M. Lecoq.

Topographie de tous les vignobles connus, par M. Jullien.

Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.

Utilisation des eaux d'égouts en Angleterre, Londres et Paris, par M. Ronna.

Vignes du Midi, par M. Marès.

Visite faite à l'usine de M. Heward à Bedfort, par M. Ronna.

IRRIGATIONS.

Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.

Irrigation; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.

Irrigations (Recherches sur les eaux employées dans les), par MM. Salvetat et Chevandier.

Irrigations, par M. Longpérier.

Irrigations et les engrais à Granjac, par M. Ronna.

Submersions fertilisantes, comprenant les travaux de colmatage, limonage, irrigations d'hiver, par M. Nadault de Buffon.

Chemins de fer.

ACCIDENTS. — SIGNAUX.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes publiées dans le journal *le Brevet d'Invention*, par M. Jules Gaudry.

Accidents sur les chemins de fer, par M. Émile With.

Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.

Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.

Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. Grivel.

Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.

Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.

Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.

Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.

Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.

L'Électricité et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.

Signaux fixes (Pose et manœuvre des) du chemin de fer de Lyon, par M. Marié.

Signaux de chemins de fer à double voie (Études sur les), par M. Ed. Brame.

Signaux optiques et acoustiques à l'Exposition universelle de 1867.

Signaux à distance, par M. Glaser.

ÉTABLISSEMENT, TRACÉ ET DIVERS.

Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.

Chemins de fer d'Angleterre (Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration), législation et statistique, par M. Le Chatelier.

Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, par MM. Molinos et Pronnier.

Chemin de fer allant au camp de Châlons (Travaux exécutés pour l'établissement de l'embranchement), par M. Vuigner.

Chemin de fer hydraulique, par M. L.-D. Girard.

Chemins de fer à courbes de petits rayons (Système applicable aux), par M. Aubry.

Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.

Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.

Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Vitry à Gray, par M. Brière, de Mondétour.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. E. et A. Barrault.
Chemins de fer (La Russie et ses), par M. E. Barrault.
Chemins de fer suisses et les rails-way Claringhouse de Londres, par M. Bergeron.
Chemin de fer du Saint-Gothard, par M. Koller.
Chemin de fer à voie de 0.80 dit des Broelthal, près Cologne, par M. Jules Morandière.
Comparaison entre un profil de chemin de fer à inclinaison de 15 millimètres et un profil à inclinaison de 25 millimètres, par M. E. Flachat.
Complément des voies de communication dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.
Construction de la ligne de Montluçon à Moulins, et de la ligne de Bourges à Montluçon, par M. Nordling.
Construction de la section d'Arvant à Murat, de Murat à Vic-sur-Cer, par M. Nordling.
Construction de la ligne de Montluçon à Limoges, et de l'embranchement d'Aubusson à Fourneaux, par M. Nordling.
Construction des chemins de fer, par M. Émile With.
Documents statistiques sur le chemin de fer de Châteaulin à Landernau, par M. Morandière.
Enquête sur la construction et l'exploitation des chemins de fer.
Étude sur les chemins de fer d'intérêt local, par M. Chauveau des Roches.
Études sur les chemins de fer du haut Jura, par M. Lehaître.
Études de la traversée du Simplon entre Gliss-Brigg et Domo-d'Ossola, par M. Lehaître.
Étude critique des divers systèmes proposés pour le passage des Alpes suisses par un chemin de fer, par M. G. Lommel.
Étude comparative du Simplon, Saint-Gothard et Luckmanier, et de la valeur technique et commerciale des voies ferrées projetées par ces passages alpins italo-suisses, par M. G. Lommel.
Études sur les voies de communication, par M. Teisserenc.
Géométrie des courbes et garages des voies de chemins de fer, par M. V. Prou.
Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Pose de rails pour chemin de fer (Nouveau système de), par M. Bergeron.
Profil et plan du chemin de fer du Brenner.
Propulseur atmosphérique, par M. Petiet.
Questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer (Consultation sur les).
Rapport sur les chemins de fer suisses.
Rapport sur les chemins de fer neufchâtelois, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport ou compte rendu des opérations du chemin de fer de l'État belge pour les années 1842, 1844, 1845, 1846, etc., jusqu'à 1864.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.

Rapport du conseil d'administration du chemin de fer de Hainaut et Flandres.
Rapport sur les chemins de fer de Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur l'application du fer dans les constructions des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Rapports du conseil d'administration et de l'ingénieur-conseil de la Compagnie anonyme du chemin de fer de Fougères à Vitré.
Résistance dans le passage des courbes de chemin de fer, par M. Vissocq.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traction sur plans inclinés pour chemins de fer, par M. Agudio.
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, par M. Goschler.
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. D'Adhémar.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. E. Flachat.
Traversée du Simplon, Saint-Gothard et Luckmanier, par M. Barmane.
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.
Traversée des Alpes et la Suisse, et communications du système Fell, par M. Flachat.

GÉNÉRALITÉS.

Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Annuaire spécial des chemins de fer belges, par M. Loisel.
Avantages du Simplon, sous le rapport de la construction et de l'exploitation d'un chemin de fer (Rapport sur les), par M. Stockalpes.
Avantages des compagnies locales, par M. Dagail.
Budget de chemin de fer (Projet), par M. F. Hubert.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi.
Cahier des charges du chemin de fer Victor-Emmanuel.
Calculs sur la sortie de la vapeur dans les machines locomotives, par M. Janneney.
Calculs sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduites de vapeur et de fumée dans les locomotives, par MM. Flachat et Petiet.
Chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Chemin de fer de Pons à Royan, par M. Dagail.
Chemins de fer établis sur l'accotement des routes, pour 20 à 25,000 fr. le kilomètre, matériel roulant compris, par M. Dagail.
Chemins de fer, par M. E. Flachat.
Chemin de fer de Mamers à Saint-Calais (Rapports présentés par le conseil d'administration du), et sur le matériel de la voie et sur le type des stations.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemins de fer à bon marché (Rapport sur les), par M. Bergeron.
hemins de fer communaux et provinciaux à construire en Italie, par M. Alfred Cottrau.
Chemin de fer d'intérêt local de Coulommiers à la Ferté-Gaucher, par M. Le Breton.
Chemin de fer d'intérêt local de la Ferté-Gaucher à Coulommiers, par M. Chauveau des Roches.

Chemins de fer départementaux, par M. Bontemps.

Chemin de fer d'intérêt local suisse, par M. J. Michel.

Chemins de fer vicinaux, départementaux, ou d'intérêt local, par M. La Ruelle.

Chemin de fer d'intérêt local de la Ferté sous-Jouarre à Montmirail (Mémoire sur le); par M. Chauveau des Roches.

Chemin de fer d'intérêt local de Guise à Saint-Quentin (Rapport de la commission chargée des intérêts du), par M. Monnot.

Chemins de fer adoptés en Norvége (Rapport sur les), par M. Phil.

Circulaire adressée aux présidents des conseils généraux des départements, par la Compagnie des chemins de fer à rail central, système Fell, relative à l'application des routes ordinaires existantes à la construction des chemins d'intérêt local.

Consultation sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.

Construction et exploitatation des chemins de fer d'intérêt local. Études pratiques suivies de considérations économiques et techniques sur les chemins de fer à transbordement, par M. Level.

Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.

Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.

Exploitation des chemins de fer (Améliorations à introduire dans l'), par M. Bordon.

Exploitation des chemins de fer, par M. Jacquin.

Foyer fumivore Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet (Félix).

Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.

Histoire financière des chemins de fer français, par M. de Laveleye.

L'État et les Compagnies de chemins de fer, de quelques questions de sécurité et d'économie, par M. Vidard.

Moyens financiers (Précis sur les) des chemins de fer de France, par M. Crosnier.

Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les locomotives, par MM. Meyer.

Position technique, commerciale et financière du Lukmanier, comparée à celle du Saint-Gothard, par M. G. Lommel.

Rachat des chemins de fer par l'État, par M. Poujard'hieu.

Rapport de la compagnie Genevoise des colonies de Sétif, contenant des documents très-intéressants sur l'exploitation de transports par locomotives routières.

Rapports du conseil d'administration à l'assemblée générale des actionnaires de la Compagnie des chemins de fer du Nord-Est.

Renseignements statistiques sur les chemins de fer français, par M. J. Morandière.

Ressorts en acier (Mémoire sur les), par M. Philips.

— (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Philips.

Société générale des chemins de fer d'intérêt communal, par MM. Dufranc et Finet.

Solution de la question des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.

Tarif des chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Émile With.

Tarif (Rapport sur la réforme du) des voyageurs en Belgique, par M. Prosper Tourneux.

Trafic probable des chemins de fer d'intérêt local, par M. Michel.

Types d'ouvrages d'art du chemin de fer de Saint-Quentin, du chemin de Saint-Germain et du chemin de fer du Nord. (Album.)

Types. Chemin de fer du Nord. Travaux et surveillance. (Album.)

MATÉRIEL ROULANT.

Album contenant les documents sur la machine locomotive à fortes rampes, pouvant passer dans des courbes des plus petits rayons, de M. Thouvenot.

Album des voitures et wagons de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, par M. E. Mayer.

Album photographique du matériel roulant de la grande Compagnie des chemins de fer Russes, par M. Kremer.

Albums du matériel des chemins de fer du Nord de l'Espagne, machines, tenders et wagons, par M. Germon.

Album des dessins relatifs au matériel fixe et roulant de la Compagnie des chemins de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante, par M. Paquin.

Application de la chaleur directe du foyer au séchage et au surchauffage de la vapeur dans les machines locomotives, par M. Hittorf.

Chemins de fer d'Angleterre (Matériel roulant des), par M. Le Chatelier.

Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.

Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.

Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines locomotives, par MM. Couche et Resal.

Diagrammes des principales locomotives du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, par M. Marié.

Économies à réaliser sur les chemins de fer, au point de vue du matériel et de la traction, par M. Vidard.

Embrayage électrique appliqué aux chemins de fer, par M. Gavarret.

Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoît Duportail.

Essieux creux à graissage continu, par M. Evrard.

Frein automoteur (Rapport sur le), par MM. Robert, Combes et Couche.

Frein dynanométrique, par M. Chuwab.

Frein hydraulique, par M. Meller jeune.

Frein Castelvi.

Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.

Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.

Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.

Locomotion avec adhérence au moyen du rail central, système Agudio.

Locomotion mixte appliquée aux chemins de fer économiques en Italie, système A. Cottrau, par M. P. Boubée.

Locomotive du système Fairlie, par M. H. Simon.

Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.

Locomotives pour forts trains express avec train universel, par M. Vaessen.

Locomotive-tender pour fortes rampes et courbes à petits rayons avec train universel, construite par la Société Saint-Léonard de Liége, par M. Vaessen.

Locomotive articulée à douze roues couplées, par M. Rœchaert.

Locomotive à poids utile, pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 pour 100, par M. Cernuschi.

Locomotives (Atlas des ouvrages d'art et des) exécutés aux usines du Creuzot, par M. Schneider.
Locomotive de M. Haswell (Noto descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Locomotive électro-magnétique (Nouveau système de), par MM. Bellet et de Rouvre.
Locomotive à marchandises à six roues couplées et cylindres extérieurs de Paris à Lyon et à la Méditerranée, par M. Glaser.
Locomotive de montagne, par M. Beugniot.
Locomotives routières, par M. Longpérier.
Locomotives et matériel de transport à l'Exposition universelle de 1867, par M. Taillard.
Marche à contre-vapeur des machines locomotives, par M. Le Chatelier.
Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoît Duportail.
Matériel des chemins de fer à l'Exposition universelle de 1867, par MM. L. Flachat, de Goldschmidt, H. Mathieu et J. Morandière.
Matériel roulant de la Compagnie du chemin de fer de l'Est (De l'état général du).
Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.
Matériel roulant permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.
Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.
Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.
Moteur des convois de chemins de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par M. Nicklès.
Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.
Roues pleines en tôle, par M. Amable Cavé.
Spécimens des locomotives et tenders composant le matériel du chemin de fer de l'Est, par M. Vuillemin.
Théorie de la coulisse, par M. Philips.
Traction à l'adhérence des locomotives (Examen de divers moyens propres pour faire contribuer la), par M. Delacolonge.
Traction sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur funiculaire, système Agudio (Rapport à M. le Ministre des travaux publics), par M. Combes.
Tube d'inversion ou la machine locomotive transformée en générateur de chaleur pour produire l'arrêt des trains, par M. Ricour.
Tube d'inversion (Critique scientifique et historique sur le), par M. Ricour.
Voiture à deux étages, par M. Vidard (quatre brochures).
Voitures à deux étages (Sur la stabilité des), par M. Vidard.
Wagonnet Lorry, par M. Martin.

VOIE.

Amoncellements de neige sur les chemins de fer (Moyens de les prévenir), par M. Nordling.
Bagues en fonte applicable à la voie Vignole, par M. Desbrière.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.

Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemin de fer, par M. Sambuc.
Considérations sur les serre-rails et tables-rails, par M. Barberot.
Croisements des voies, par M. Le Cler.
Croisements et changements de voie (Études sur les), par M. Richoux.
Écartement (Note sur l') des alimentations sur les chemins de fer, par M. Nordling.
Éclissage, nouveau système, par M. Desbrière.
Entretien et renouvellement des voies ferrées en Angleterre, par M. J. Morandière (Extrait du Bulletin de la Société des anciens Élèves des Écoles impériales d'arts et métiers).
Nouveau système de pose de rails, par MM. Prestat, Thibaut et Constant.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.
Système annexe de tronçons de rebroussement (Note et dessin), par M. Lourdaux.
Voie et matériel de la voie des chemins de fer (Exposé économique de la), à l'Exposition de 1867, par M. E. Flachat.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.
Voies, perfectionnement au système Barberot, serre-rails appliqués sur traverses ordinaires, semelles en fonte remplaçant les traverses, et nouveau serre-joint pouvant s'appliquer sur tous les systèmes.
Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer, par M. Couche.

Chimie industrielle.

Allumettes chimiques (Fabrication des), par M. Peligot.
Analyses chimiques (Dictionnaire des), par MM. Violette et Archambault.
A propos de verres ou les trois solutions du problème de chimie $MO < MO^4 < M^{(4)}$.
Atomes (Théorie des) et des équivalents chimiques, par M. Choron.
Blanc de zinc (De la substitution du) au blanc de plomb, par M. Richelot.
Chimie agricole (Guide de), par M. Basset.
Chimie industrielle (Introduction à l'étude de la), par M. Jullien.
Chimie industrielle (Précis de), par M. Payen.
Chimie (Abrégé élémentaire de), par M. Lassaigne.
Chimie (Introduction à l'histoire de la), par M. Liebig.
Chimie (Précis élémentaire), par M. Garnier.
Chimie, céramique, géologie, métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Chimie élémentaire (Traité de), par M. le baron Thénard.
Chimiques (Nouvelles manipulations), par M. Violette.
Chimistes français (A propos du rapport de M. Dumas sur les travaux des), par M. Jullien.
Chlorures de chaux (L'Art de préparer les), par M. Chevallier.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Conservation des bois, procédé Legé et Fleury-Perronnet.
Conservation et coloration des bois (Réponse aux experts), par M. Gardissal.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois, par M. Meyer d'Usler.

Cours de chimie inorganique, d'après la théorie typique de M. Gerhard, par M. A. Daschelet.

Dosage volumétrique du cuivre (Nouveau procédé de), par M. Weil.

Eaux des houillères employées dans les générateurs à vapeur.

Éclairage (Traité de l'), par M. Péclet.

Éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry.

Éclairage par le gaz (Traité de l'), de M. Schilling, traduit de l'allemand par M. Servier.

Écorçage du chêne et la production et la consommation des écorces à tan en France, par M. Perrault.

Empoisonnement par le gaz, par M. Jules Bouis.

Fabrication et distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg, traduit de l'anglais, par M. Servier.

Fabrication du gaz à la houille et à l'eau, par M. Faure.

Gaz de Londres (Usines à), par M. Jordan.

Gélatine (Mémoire sur la), par M. de Puymaurin.

Incrustation des chaudières à vapeur, moyens de la combattre, par MM. Brüll et A. Langlois.

Imprégnation des bois, par M. Pontzen.

Lampes servant à l'éclairage au moyen des huiles animales, végétales ou minérales à l'Exposition de 1867, par M. H. Peligot.

Matières colorantes dérivées de la houille, par M. Ch. Girard.

Mensuration des corps gazeux et particulièrement du gaz d'éclairage, par M. Ball.

Minium de fer.

Nouvelle méthode pour reconnaître et déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des acides et des manganèses, par M. le docteur Bichon.

Planchette photographique (Notice sur la) de M. Chevallier, par M. C. Tronquoy.

Procédés volumériques pour le dosage du zinc et l'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.

Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique.

Réservoirs pour emmagasiner les huiles de pétrole, par M. Ckiandi.

Rouges d'aniline (Mémoire sur les), par E. Jacquemin.

Rouges d'aniline, l'azaline et la fuschine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.

Rouge d'aniline et la fuschine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.

Silicatisation ou applications des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.

Substances organiques (Manuel pour l'analyse des), par M. Liebig.

Divers.

Achèvement sans emprunt des grands travaux de Paris, par M. Huet, architecte.

Admission temporaire des tissus (Interpellations économiques sur l'), par M. Seillère.

Album d'appareils pour le gaz, par M. Maldant.

Album de la fabrique, par M. Berger.

Albums photographiques. Vues de la Grèce, de l'Égypte, de Constantinople et de Venise.

Amélioration de l'abri des troupes en campagne, par M. P. Barbe.

Amphithéâtre en 1865 et 1866 à l'École centrale d'architecture, par M. Émile Trélat.

Architecture (Leçons élémentaires d'), par M. Thumeloup.

Architecture. Cours à l'École centrale.

Architecture navale (Guide pratique d'), par M. Bousquet.

Art naval à l'Exposition universelle de 1867, par M. le vice-amiral Paris.

Associations ouvrières en Angleterre (Trades-Unions), par M. le comte de Paris.

Bibliographie des ingénieurs et des architectes.

Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.

Blanc de zinc (Manuel des peintures au).

Caisse de retraite pour la vieillesse (Rapport sur la), par M. Pereire.

Carnets (Série de dix-sept), dressés par les jeunes élèves de l'École annexe de l'établissement de Graffenstaden.

Carte de l'état-major de l'Électorat de Hesse-Cassel. (Carte.)

Cartes et dessins produits à l'Exposition universelle de 1867, relatifs au service du Corps impérial des mines (Notices sur les collections).

Chemins suédois. (Carte.)

Commerce des blés en 1867, par M. Godemberg.

Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.

Considérations générales sur les Alpes centrales, par M. William Huber.

Cours de navigation (Appendice au), fait par M. Mary à l'École des ponts et chaussées, 1843-1844.

Discours prononcés par M. le général Morin, M. Bertrand et M. Yvon Villarceau, sur la tombe de M. Léon Foucault.

Discours prononcé au comice agricole de l'arrondissement de Saverne, par M. Godemberg.

Documents rassemblés par M. Paul Barbe, ancien officier d'artillerie, sur la Dynamite, substance explosible.

Eaux (Écoulement des) de toiture, par M. De Lacolonge.

Éclairage au gaz de la ville de Bordeaux (Examen comparatif du projet présenté par l'administration municipale pour l'), par M. Jouanne.

Écoles d'arts et métiers d'Angers (Notice sur les), par M. Guettier.

Écoles impériales d'arts et métiers de Liancourt, Compiègne, Beaupréau, Châlons, Angers et Aix-la-Chapelle, par M. Guettier.

Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.

Enseignement.

Excursion en Angleterre et en Écosse, par M. Burel.

Expériences faites sur le chemin de fer de Saint-Michel à Suze, par la route impériale (Rapport sur les), par MM. Conte et Guignard, ingénieurs des ponts et chaussées, et MM. Rochet et Perrin, ingénieurs des mines.

Expériences de tir à outrance, avec des canons en acier fondu, de M. Friedrich Krupp.

Expériences exécutées en Belgique, avec un canon de 223 $^{m}/_{m}$ en acier Krupp.

Expériences de tir, exécutées en Russie contre une cible-type « Hercule, » avec canon de 279$^{m}/_{m}$,4, en acier fondu Krupp, se chargeant par la culasse.

Exploration du Sahara et du continent africain, par Gérard.

Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Exposition nationale de Constantinople, par M. Ganneron.
Fabrication du sucre par le sucrate de chaux, sucraterie agricole, par M. Ronna.
Fermeture cylindro-prismatique pour les canons de gros calibre, par M. Krupp.
Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.
Grand-Ouest des États-Unis (Le), par M. Simonin.
Guide du sténographe, par M. Tondeur.
Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
Histoire de la terre, origines et métamorphoses du globe, par M. Simonin.
Inconvénients qu'entraînerait la suppression de la vaine pâture, par M. Godemberg.
Indiens des États-Unis (Les), par M. Simonin.
Instruction, ce qu'elle est, ce qu'elle devrait être, par M. Baudouin.
Inventeurs (Les) et les inventions, par M. Émile With.
Isthme de Suez (Notice sur l'), par M. Guitter.
La Chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec, par MM. Vincent et Prou.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Liberté du travail (La) et les coalitions, par M. Baudouin.
L'Italie économique en 1867.
Marine à vapeur commerciale, par M. E. Flachat.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.
Navigation à vapeur transocéanienne, par M. Eug. Flachat.
Navigation (Traité de), par M. Fournier.
Navires en fer à voiles, par M. Lissignol.
Nettoyage des carènes de navires à vapeur en cours de campagne, par M. A. Denagrouze.
Ninive et l'Assyrie (L'ouvrage de M. Place sur).
Notice biographique sur Louis-Ezéchias Pouchet, négociant à Rouen.
Notice sur J.-P.-P. d'Arct.
Notice sur l'usine du Creuzot, par M. Simonin.
Notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, inventeur du thermo-lampe, par M. Gaudry.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notre-Dame de Brou, par M. Malo.
Observatoire impérial (de la nécessité de transporter l') hors Paris, par M. Yvon Villarceau.
Observations sur l'admission temporaire des métaux, par M. E. Gouin.
Organisation de l'enseignement industriel, par M. Guettier.
Ouvrages d'art divers. (Album.)
Ouvrages d'art du canal latéral à la Garonne. (Album.)
Pays (Les) lointains, notes de voyages, par M. Simonin.
Peignage dans la filature de coton (Sur la généralisation du), par M. Imbs.
Phares (Description des), par M. Coulier.
Phénomène du flot courant à propos du naufrage de la frégate russe « Alexandre-Newski », par M. Cialdi.
Première année au collége, par M. Gardissal.

Production et le commerce des sucres (Notice sur la), par M. de Dion.
Projet de voie de communication à établir entre la France et l'Angleterre au dessus de la Manche, par M. Vérard de Sainte-Anne.
Propagation des connaissances industrielles, par M. Guettier.
Raffineries de sucre (Examen critique du régime des fabriques), par M. Joseph Leloup.
Rapport sur le matériel et les procédés de la couture, confection de vêtements à l'Exposition universelle de 1867, par M. d'Aligny.
Rapport sur le matériel et l'outillage mécanique de la tannerie et de la mégisserie à l'Exposition universelle de 1867, par M. Perrault.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Réponses aux questions posées par MM. les délégués, par M. Ferdinand de Lesseps.
Ressorts-pincettes (Notice sur un nouveau système de), par M. André.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Révolution de la mer, par M. J. Adhémar.
Sociétés commerciales (Traité des), par MM. Malepeyre et Jourdain.
Substances alimentaires (Préparation et conservation des), par M. Fournier.
Système coopératif appliqué à la construction et à l'exploitation des chemins de fer par M. Poujardieu.
Tableau physique du Sahara oriental de la province de Constantine, par M. Ch. Martins.
Tarifs de chemins de fer devant l'opinion publique (Rapport sur les), par M. Blanquet.
Traité d'architecture, par M. Léonce Regnaud, 1er volume avec un atlas. (La 2e partie de l'ouvrage manque.)
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Transfert de l'Observatoire impérial de Paris, par M. Yvon Villarceau.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.
Travail des enfants dans les manufactures, par M. Godemberg.
Travaux scientifiques, de M. Delesse.
Visite à l'Exposition universelle de 1867, par M. Léon Malo.

Géologie.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques par M. de Laveleey.
Cartes agronomiques des environs de Paris, et cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris, par M. Delesse.
Carte hydrologique du département de la Seine, par M. Delesse.
Comparaison des déterminations astronomiques faites par l'Observatoire impérial de Paris, avec les positions et les azimuts géodésiques, publiés par le dépôt de la guerre, par M. Yvon Villarceau.
Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protaster, par M. Ebray.
Description des roches composant l'écorce terrestre et des terrains cristallins, par M. Delesse.

Effet des attractions locales sur les longitudes et les azimuts, application d'un nouveau théorème à l'étude de la figure de la terre, par M. Yvon Villarceau.
Étude géologique de l'Isthme de Suez, par M. E. Tissot,
Études géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Études géologiques sur le Jura neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.
Études géologiques, brochures diverses, par M. E. Ebray.
Étude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Formations volcaniques du département de l'Hérault, dans les environs d'Agde et de Montpellier, par M. Cazalis de Fondouce.
Géologie de l'Égypte, d'après les travaux les plus récents, notamment ceux de M. Figori-Bey et le canal maritime de Suez, par M. Cazalis de Fondouce.
Géologie du Pérou, par M. Crosnier.
Géologie du Chili, par M. Crosnier.
Géologie et ressources minérales de la nouvelle Calédonie, par M. Garnier.
Géologique (Notice) sur le plateau de Thostes et sur les mines de fer, par M. A. Evrard.
L'Étrurie et les Étrusques, par M. Simonin.
Nivellement général de la France, par M. Bourdaloue.
Nouvelle détermination d'un azimut fondamental pour l'orientation générale de la carte de France, par M. Yvon Villarceau.
Produits souterrains à l'Exposition universelle de 1867, par M. Simonin.
Propriété du lit des cours d'eau naturels, fleuves et rivières navigables, flottables ou non, et ruisseaux, par M. Brabant.
Rapport sur les provinces du levant de l'Espagne, par M. Ch. Laurent.
Revue de géologie pour les années 1863 à 1867, par MM. Delesse et Laugel.

Machines à vapeur.

Album des machines, outils et appareils construits dans les ateliers de M. Frey fils.
Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.
Chaudière à vapeur (Rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse sur le concours ouvert par elle sur la meilleure), par M. Dubied.
Chaudière tubulaire à courant d'eau continu, système Barrot, par M. Ckiandi.
Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Ortolan.
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.
Condenseurs par surfaces, et de l'application des hautes pressions à la navigation à vapeur, par M. Sébillot.
Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.
Cours de machines à vapeur, par M. Léonce Thomas.
Emploi de la houille dans les locomotives, et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.
Essais officiels de la frégate cuirassée *la Numancia* (Note sur les), par M. F. Bourdon.
Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.
Foyer fumivore, par M. de Fontenay.
Foyer fumivore de M. Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet (Félix).

Fumée (Moyens de brûler ou de prévenir la) des foyers où l'on brûle de la houille, par M. Combes.

Générateurs inexplosibles Belleville (Étude sur les), par M. Cordes.

Guide du mécanicien conducteur de locomotives, par MM. Flachat et Petiet.

Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.

Incrustations salines (Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des), par M. Guinon.

Influence de l'état de propriété des surfaces sur l'utilisation du calorique dans les générateurs de vapeur, par M. Grosseteste.

Injecteur Giffard (Notice théorique et pratique sur l').

Labourage à la vapeur (Rapport du jury au concours international de Roanne), par M. Pepin-Lehalleur.

Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvalho.

Locomotives. (Voir *Matériel roulant.*)

Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.

Machines à disques, par M. Rennie.

Machines de Marly, par M. Charles Prièz.

Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.

Machine avec générateur à combustion comprimée par M. Pascal (Rapport sur la) par M. Colladon.

Machine à gaz, par M. Gérondeau.

Machine à vapeur surchauffée de M. Hirn.

Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.

Machines à vapeur, leçons faites en 1869-1870 à l'École impériale des ponts et chaussées, par M. Jacqmin.

Machines à vapeur à l'École des ponts et chaussées (Conférences faites sur les), 1843-1844. (Brochure.)

Mouvement du tiroir (Notice sur les méthodes graphiques usitées pour étudier le), par M. Vidal.

Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.

Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.

Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.

Profil géologique de Paris à Brest, réseau d'Orléans. (Dossier.)

Puissance motrice absorbée par les machines mues (Moyens à proposer pour contrôler, mesurer et enregistrer la), par M. Émile Petit.

Recherches expérimentales sur les moteurs à vapeur, expériences faites sur une machine du système Woolf, par M. Grosseteste.

Steam Boiler. Explosions.

Théorie de la coulisse, par M. Phillips.

Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, par M. Armengaud aîné.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes, par M. Jullien.

Transports des marchandises sur les canaux au moyen de la vapeur, par M. Dubet.

Tubes mobiles du système Langlois pour chaudières à vapeur et machines marines fixes. Locomotives et locomobiles.

Types divers de générateurs, par M. Belleville.

Mathématiques et sciences diverses.

Algèbre (Application de l') à la géométrie, par M. Bourdon.
Analyse appliquée à la géométrie des trois divisions, par M. Leroy.
Cours de géométrie descriptive, par M. T. Olivier.
Cours de mathématique, par A. Blum.
Cours de mécanique appliquée aux constructions, par M. Collignon.
Cours de mathématiques, par Bezouet.
Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'École centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Flexion des prismes, par M. Vidal.
Géométrie (Éléments de), par M. Lacroix.
Géométrie (Éléments de), par M. Lionnet.
Géométrie descriptive (Éléments de), par M. Babinet.
Géométrie (Problème de) et de trigonométrie, par G. Ritt.
Instruments de mathématiques à l'Exposition universelle de 1867, par M. Grateau.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Statique Poinsot, 1 volume.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Tachéométrie (Guide pratique de), par M. Joseph Porro.
Topographie et géodésie (Cours de), par M. Benoît.
Traité de cinématique, par M. Ch. Laboulaye.
Traité de cinématique, par M. Bélanger.
Traité de la dynamique d'un point matériel, par M. Bélanger.
Trigonométrie (Éléments de), par M. Lefébure de Fourcy.

Mécanique.

Air comprimé (Notice historique sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareil aérohydrostatique de M. Seiler.
Appareil à essayer les solives à la compression et à la traction, par M. Glaser.
Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres; suivi de la Construction de la vis d'Archimède, par M. Benoît Duportail.
Cours de mécanique, S.-D. Poisson, 2 volumes.
Détermination du volant et du régulateur à boules ramenant la vitesse de régime, par M. Charbonnier.
Dyname (Le), par M. Boudsot.
Engrenage à coin, par M. Minotto.
Guide pratique de l'ouvrier mécanicien, par M. Ortolan.
Machine à voter de M. Gallaud (Rapport sur la), par M. Molinos.
Machines-outils, par M. Chrétien.

Machine à percer, couper et abattre les roches, par MM. Jatal et Garnier.
Mécanique appliquée, cours à l'École centrale.
Mécanique pratique, leçon par M. A. Morin.
Montage et la manœuvre du métier à tisser (Note sur le), par M. Burel.
Moteur à pression d'eau (Recherches théoriques et expérimentales sur le) de M. Perret, par M. Ordinaire de Lacolonge.
Moteurs hydrauliques (Traité théorique et pratique des), par M. Armengaud.
Organes de machines (Collection d'). Cours de M. Lecœuvre.
Perforation mécanique des roches par le diamant, par M. de Lacolonge.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par M. Chaumont.
Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.
Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1851), par M. le général Poncelet.
Recherches expérimentales sur les moteurs à vapeur, expériences faites sur une machine du système Woolf, par M. W. Grosseteste.
Théorie et description des régulateurs marins, isochrones à bras et à bielles croisés, à deux centres d'oscillation, de MM. Farcot, par M. Hirn.
Traité complet de la filature de coton, par M. Alcan.
Traité du travail des laines, par M. Alcan.
Transmission à grandes vitesses. Paliers graisseurs de M. de Coster, par M. Benoît Duportail.
Travaux de vacances des élèves de l'École centrale (Albums des).
Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.
Ventilateur à force centrifuge (Recherches théoriques et expérimentales sur le), par M. Ordinaire de Lacolonge.

Métallurgie. — Combustibles.

Aciération (Recherches sur l'), par M. Jullien.
Acier (Fabrication de l'), par M. Gruner.
Acier (Étude sur l'). Examen du procédé Héaton.
Affinités capillaires et les phénomènes de la trempe mis en présence, par M. Jullien.
Agglomération des charbons menus, par M. Gérondeau.
Album du cours de métallurgie professé par M. Jordan à l'École impériale centrale des arts et manufactures en 1864-65.
Album de la Compagnie des hauts-fourneaux et fonderies de Givors.
Album de la Société Boignes, Rambourg et Cᵉ, hauts-fourneaux, fonderies et forges de Fourchambault, Torteron, Montluçon et la Pique.
Album des Types de rails en acier et croisements de voie en acier fondu, coulé, exécuté par MM. Petin, Gaudet et Cᵉ.
Album des fonderies de MM. Haldy, Rœchling et Cᵉ.
Album de la maison Durenne, maître de forges (pièces exécutées dans son usine à Sommeroire (Haute-Marne).
Aluminium dans la métallurgie (Importance de l'), par M. Tissier.
Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Cités ouvrières de houilleurs dans les mines du centre français (Rapport sur les), par M. Simonin.

Chimie, céramique, géologie et métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Comparaison expérimentale et théorique des aciers provenant de la décarburation des fontes, par M. Galy-Cazalat.
Coulées de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Cuivre, son histoire, ses usages (État présent, méthodes et procédés de traitement du), par M. Petitgand.
Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. H. Fournel.
Emploi des fers, par M. Schwaeblé.
Essai des chaînes-câbles.
Étude sur l'état actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siegen (Prusse), par M. Jordan.
Étude sur le rôle de la combustion intermoléculaire des corps renfermés dans la fonte, et sur l'influence de l'hydrogène dans la fabrication de l'acier fondu, par M. A. Bérard.
Exploitation et traitement des plombs dans le midi de l'Espagne.
Fabrication de l'acier en Angleterre, par M. Grateau.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fabrication des fontes d'hématite, par M. Jordan.
Fabrication du fer et de la fonte (Documents concernant le haut-fourneau pour la), par M. Fiévet.
Fers spéciaux (Albums des) de la Société des forges et fonderies de Montataire.
Id. id. des usines du Creusot.
Id. id. de MM. Karcher et Westermann, maîtres de forges.
Id. id. de MM. Lasson, Salmon et C^ie^, maîtres de forges.
Id. id. des usines et forges de Châtillon et Commentry.
Id. id. de la Société *la Providence*.
Id. id. de MM. Dupont et Dreyfus, maîtres de forges.
Fers spéciaux (Albums des) et fontes moulées de la Société anonyme des hauts-fourneaux de Maubeuge.
Fers spéciaux (Différents types des), des forges de Manois (Haute-Marne).
Fers spéciaux (Différents types des), des forges de la maison Harel et C^ie^, à Pont-l'Évêque.
Fonderie (De la), telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier.
Fonte Gruson avec album.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
L'Art du maître de forges, par M. Pelouze.
Métallurgie pratique, par M. D.
Métallurgie (Traité complet), par le docteur Percy, traduit par MM. Petitgand et Ronna.
Métallurgie du fer et carbonisation du bois, par M. Gillet.
Métaux bruts à l'Exposition universelle de 1867, par M. Dufrénoy.
Nouveaux procédés ayant pour but de revêtir les métaux d'une couche adhérente et brillante d'autres métaux, par M. Weil.
Nouvelle méthode d'extraction de zinc, par M. Muller.
Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Produits et divers procédés de la manufacture d'acier fondu de M. Friedrich Krupp.
Revue de l'industrie du fer en 1867, par M. Jordan.

Revue semestrielle des travaux d'exploitation des mines et de la métallurgie, par M. Grateau.
Richesse minérale de la France (Notice sur la), par M. Simonin.
Théorie de la trempe, par M. Jullien.
Traité de la fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et A. Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Julien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.
Usine de Spreuk bank foundry (Note par M. Gaget).
Utilisation des scories de forges, procédé de MM. Minary et Soudry.

Mines. — Carrières.

Appareil de sûreté pour l'exploitation des mines, par M. Amable Cavé.
Aperçu du travail des hauts-fourneaux dans quelques États de l'Amérique du Sud, par M. Henri Fournel.
Avenir de l'exploitation des mines métalliques en France, par M. Petitgand.
Bassin houiller de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.
Carbures de fer. En général les fers impurs sont des dissolutions, par M. L.-C. Jullien.
Canaux souterrains et houillers de Worsley, près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.
Concession de Grigues et la Taupe, par M. Henri Fournel.
Estimation des houillères, par M. Lacretelle.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Exploitation des mines (Expériences faites en Autriche en 1867 sur les machines et l').
Extraction (l') et le roulage à l'Exposition universelle de 1867 (Exploitation des mines, par M. Évrard (Alfred).
Fer et du charbon (Du) à Epinac, par M. Gislain.
Fusées de sûreté (de MM. Chenu et C°), par M. Le Chatelier.
Houillère d'Epinac, par M. Simonin.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Lampe de sûreté pour les mines de houille, par M. Prouteaux.
Matériel des houillères en France et en Belgique, par M. Burat Amédée.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Minerais de fer à l'Exposition universelle de 1867, par M. Grateau.
Minerais d'étain exploités à la Villède, par M. Guettier.
Minéralogie appliquée, par M. A. Burat.
Minéralogie usuelle, par M. Drapier.
Minéralogie (Traité élémentaire), par M. Naranzo.
Mines du Creusot, d'Épinac et des houillères du canal du Centre, par M. Simonin.
Mines de houille de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand'Combe (Rapports sur les).
Mines de Languin, par M. Henri Fournel.
Mines de Seyssel, par M. Henri Fournel.

Mines de houille d'Aniche (Notice sur les), par M. E. Vuillemin.
Mines (Observations générales sur l'état du travail des) à l'Exposition universelle de 1867, par M. Petitgand.
Mines de houille (Gisement, extraction et exploitation des), par M. Demanet.
Mineur (Le) en Californie, par M. Simonin.
Pression et la température de l'air dans l'intérieur de quelques mines (Observations sur la), par M. Simonin.
Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillère, par M. A. Burat.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.
Vie souterraine ou les Mines et les Mineurs, par M. Simonin.

Ouvrages périodiques.

Aéronaute. Bulletin international de la navigation aérienne.
Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Mines.
Annales industrielles.
Annales de l'Agriculture, par M. Oppermann.
Annales de la Construction, par M. Oppermann.
Annales télégraphiques.
Annales des constructeurs des ponts et chaussées.
Annales du Génie civil.
Annales du Conservatoire.
Annuaire de l'année 1866 et 1867 de la conférence des Chemins de fer belges.
Annuaires de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liége.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers.
Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1865.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des Deux-Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletins du comité des Forges.
Bulletin du cercle des mécaniciens de la marine impériale de Toulon.
Bulletin mensuel de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École centrale des arts et manufactures.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins de la Société industrielle de Reims.
Bulletin de la Société des arts et métiers de Vienne.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Étienne.

Bulletins de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.
Bulletin de la Société de géographie.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des ponts et chaussées.
Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences.
Compte rendu annuel de l'Association amicale des Élèves de l'École des mines de Paris.
Éclairage au gaz (Journal de l').
Études sur l'Exposition universelle de 1867.
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal des Chemins de fer.
Journal d'Agriculture pratique.
Journal *l'Invention*, par M. Desnos.
Journal *le Moniteur universel*.
L'Isthme de Suez (Journal).
Les Mondes, Revue hebdomadaire des sciences, par M. l'abbé Moigno.
Mémoires de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Propagateur des travaux en fer.
Propagation industrielle (La).
Publications administratives, par M. Louis Lazare.
Revue d'Architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des mines et de la métallurgie (publiée à Liége).
Revue de l'Exposition universelle de 1867, par M. Noblet.
Revue des Deux-Mondes.
Revue contemporaine.
Revue horticole.
Semaine financière (Journal *la*).

Physique industrielle.

Air comprimé (Notice sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils d'éclairage (Album des), de M. Masson.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel.
Assainissement de la savonnerie Ariot, par M. Félix Foucou.
Calorifère à eau chaude et à petits tuyaux, par MM. Gallibour et Gaudillot.
Calorique latent (Procédé élémentaire), par M. Jullien.
Causes et effets de la chaleur, de la lumière et de l'électricité, par M. Seguin aîné.
Chaleur solaire et ses applications industrielles, par M. Mouchot.
Combustion de la fumée, par M. Petitpierre-Pellion.

Combustion du charbon (Considérations chimiques et pratiques), par M. Williams.
Cours de physique.
Cours de physique de Lamé, 3 volumes.
Cours de physique élémentaire, par Deguin.
Écoulement des gaz en longues conduites (Compte rendu d'expériences sur l'), par M. Arson.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. Fernandez de Castro.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. E. With.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière et l'électricité, par M. Love.
Étude sur les combustibles employés en industrie et de la tourbe, par M. Challeton.
Études sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny.
Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.
Fourneaux fumivores. Historique; état actuel de la question, par M. Wolski.
Foyer fumivore de M. de Fontenay.
Foyer fumivore de M. Tenbrinck.
Gyroscope de M. Foucault (Théorie du), par M. Yvon Villarceau.
Microscope (Construction et emploi du), par M. Ch. Chevalier.
Photographe (Guide du), par M. Ch. Chevalier.
Photographiques (Appareils), par M. Ch. Brooke.
Propagation de l'électricité (Note sur la), par M. Blavier.
Science populaire, par M. Rambosson.
Sciences physiques (Éléments des) appliquées à l'agriculture, par M. Poureau.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Télégraphe électrique, par M. Miége.
Télégraphe (Ligne de), par M. Verord.
Télégraphe électro-chimique à transmission automatique, par MM. Varin et Fribourg.
Télégraphie aux États-Unis d'Amérique, projet d'intervention gouvernementale, par M. Vinchent.
Télégraphique continentale (Projet d'une ligne) entre l'Europe et l'Asie, par M. Jousselin.
Traité élémentaire de physique, par M. R.-J. Hany.
Transports pneumatiques, par M. Léon Malo.
Usines à gaz de Londres, par M. Jordan.
Ventilation (Étude sur la), par M. le général Morin.

Publications étrangères.

Agli adulteramenti dell' olio di oliva ed i modi di risconescerli e definirli, par M. Deperais.
Almanach de l'établissement central de Vienne, pour la météorologie et le magnétisme terrestre.
Autriche (L') et la convention additionnelle anglaise.

Annales de la construction, publiées à Vienne. (Cette publication se continue.) — En allemand : Forster's Bauzeitung, texte et planches de 1851-1860, 20 volumes.

Bâtiments agricoles. — En allemand : Ueber landwirthschaftliche feuersichere Tiefbauten, von E.-H. Hoffmann. (Brochure.)

Bulletin de la Société des Ingénieurs d'Écosse.

Bulletins de la Société des arts et métiers de Vienne.

Bulletins de la Société des Arts d'Édimbourg.

Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1865.

Bulletins de l'Institution of Mechanical Engineers.

Bulletins des Ingénieurs suédois.

Bulletins de la Société des Ingénieurs de Pesth.

Bulletins de la Société des Ingénieurs industriels d'Italie.

Bulletins de la Société des Architectes et Ingénieurs du royaume de Hanovre.

Cahier des charges pour la construction d'un tronçon pour la ligne de Foggia à Naples, par M. A. Cottrau.

Canal Cavour, Italian, irrigation, canal Company.

Canali nella citta di Milano, par M. Bignami.

Catalogue de la librairie de la Société des Ingénieurs civils de Londres.

Circular Exhibit of the nautilus Dering Bell.

Compte rendu des séances des Ingénieurs et Architectes allemands, tenues à Vienne en 1864. — En allemand : Bericht über die XIV Versammlung deutscher Architekten und Ingenieure, août 1864. (Brochure.)

Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.

Détermination graphique des moments de flexion des poutres de faible longueur, par M. Vojacek.

Économiste autrichien.

Eisenbahn-Zeitung, années 1847 à 1851, 1852. Appendice, 1854 à 1861. 14 volumes. Journal allemand des chemins de fer (a cessé de paraître depuis 1861).

Électricité et les chemins de fer (L'), par M. Fernandez de Castro.

Emploi du planimètre pour la recherche des quantités nécessaires aux calculs de résistance, par M. Vojacek.

Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.

Engineering (Journal).

Entretien économique des routes et sur l'emploi des chevaux de trait pour le transport comparé à celui de la vapeur (Rapport en anglais sur l'), par M. Paget.

Enquête technique et commerciale, ordonnée par le gouvernement italien, sur les projets de chemins de fer des Alpes helvétiques, par M. Koller.

Estudio sobre Aguas-Corrientes, cloacas y adoquinado para la ciudad de Buenos-Aires, par M. Lacroze.

Exhaussement des rails dans les courbes, par M. Vojacek.

Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.

Expériences qui ont été faites au mont Cenis, sur le système Fell (Rapport sur les) par MM. Aramburn et Barron. (En espagnol.)

Fabrication de l'acier par le procédé Bessemer, par M. Kohn. (En anglais.)

Il Bosforo de Suez, relazione dell'avv. Guglielmo Rava, delegato della camera di commercio ed arti Caltanissetta preceduta della deliberazione della stessa camera e seguita della riposta del cav. Guglielmo Luigi Lauzirotti presidente della camera medicina.

Instruction pour les ingénieurs chargés de la construction des chemins de fer de Hanovre. — En allemand : Dienst-Anweisung für den einen Ban an den hannoverschen-Eisenbahnen leitenden Ingenieur. (Brochure avec atlas.)

Journal agricole de Vienne.

Ligth Railways, par M. Cockburn-Muir.

List of Prices of the Padiving apparatus of Rouquayrol and Denayrouze.

Magyar Mémök-Egyesület Kozlouye.

Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson. (En anglais.)

Minéralogie (Traité élémentaire), par M. Naranzo.

Mouvement ondulatoire de la mer et spécialement des courants sur certains points du littoral, par M. Cialdi. (En italien.)

Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's. (En anglais.)

On lighthouse apparatus and lanterns, rapport de M. Henderson.

On the Manufacture and wear of rails, par M. Sandberg.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

Palais de plaisance de Stuttgard (L'ancien). Style renaissance. — En allemand : Ueber das ehemalige Lustaus in Stuttgart, von Wilhelm Baumer. (Brochure.)

Progretto di riattivazione dell' antics acquedotto Bolognese, par Antonio Ramoni.

Projet de loi sur les chemins de fer économiques, départementaux et vicinaux en Italie, par M. Alfred Cottrau. (En italien.)

Rapport de 1854. Patent office.

Rapport du Conseil d'administration de la Société italienne du chemin de fer méridional.

Rapport sur l'application du fer dans les constructions de chemins de fer, par M. Hodgkinson. (En anglais.)

Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer, par M. Hodgkinson. (En anglais.)

Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson. (En anglais.)

Relazione sulla applicabilità del sistema Fill al passaggio dell Alpi Elvetiche con una ferrovia a forti pendenze.

Report of the commissioner of patent des années 1859, 1860, 1861 et 1862.

Résistance des rails en fer à différentes températures, par M. Sandberg. (En anglais.)

Revista de obras publicas.

Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.

Signaux de chemins de fer (Sur les). Atlas formant suite à l'ouvrage de M. Weber. — En allemand : Atlas zu MM. Weber's Telegraphen und Signalwesen der Eisenbahen. (Brochure.)

Sistema di locomotiva e Ferrovia à Norti pendenze pel passagio delle Alpi, par M. Marguti.

Sobre Aguas-Corrientes, cloacas y adoquinado para la ciudad de Buenos-Aires, par M. Lacroze.

State Engineer's report on Canals et on Railroods, par M. Mac-Alpine.

Steam Boiler. Explosions.

The elasticity. Extensibility, and tensile strengthe of iron and steel, par Knut Styffe.

The Engineer (Journal).

The Mining, Journal railway and commercial Gazette.

The Paynig and the non Paying weights pulled by, the locomotive engine, par M. Haughton.
Théorie des voûtes en berceau. — En allemand : Zur Theorie der Tonnengewölbe, par M. V. Hanel. (Brochure.)
Transactions de la Société des Ingénieurs civils de Londres. Session de 1862 à 1864.
Transactions de la Société des Ingénieurs et Architectes américains.
Upon the River waimakariri and the Lowers plains of Cantersbury, New-Zealand.
Usine de Spreuk bank foundry (Note par M. Gaget).
Vereines Deutscher Ingenieurs.

Recueil de Formules.

Aide-mémoire des ingénieurs, par M. T. Richard.
Annuaire scientifique et industriel, par M. Trevillini.
Carnet à l'usage des agriculteurs, par M. Ganneron.
Claudel. (Formules.)
Éléments de statique suivis de quatre mémoires, par M. L. Poinsot.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.
Formules ordinaires employées pour calculer la résistance des ponts métallurgiques.
Guide pratique des alliages métalliques, par M. Guettier.
Guide commercial des constructeurs mécaniciens, des fabricants et des chefs d'industrie, par M. Coré.
Instructions pratiques à l'usage des ingénieurs, par M. Armengaud aîné.
L'Ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen.
Manuel du conducteur et de l'agent-voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Émile With.
Manuel du service de la 2e section de navigation de la Marne, par M. Lalanne.
Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.
Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tableaux destinés à remplacer, sous un très-petit volume, la plupart des tables numériques, par M. Bouché.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements, par M. Eugène Péreire.
Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.
Tables des coefficients, par M. Lefrançois.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.

Statistique et Législation.

Abolition des douanes.
Actes constitutifs de la Compagnie du canal maritime de Suez.
Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.

Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.

Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Études sur les lois actuelles), par M. Damourette.

Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Émile Barrault.

Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations française et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.

Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).

Code des chemins de fer, par M. Cerclet.

Colonies agricoles (Études sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.

Communications postales entre la France et l'Angleterre.

Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.

Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.

Crédit foncier et agricole dans les divers États de l'Europe, par M. Josseau.

Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.

Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).

Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec les colonies et les puissances étrangères.

Droit des inventeurs, par M. E. Barrault.

Droits (Des) des inventeurs en France et à l'étranger, par M. Dufrené.

École centrale d'architecture, par M. Émile Trélat.

École des mines de Paris, histoire, organisation, enseignements, élèves-ingénieurs et élèves externes, par M. Grateau.

Enseignement technique (Rapport sur l'), par M. le général Morin.

Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.

Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.

Étude sur l'instruction industrielle, par M. Guettier.

Influence et avenir des Sociétés industrielles, par M. Alcan.

Institutions privées du Haut-Rhin (Mémoire sur les), par M. Penot.

Jurisprudence en matière de marchés de terrassements, par M. Nordling.

Législation des machines à vapeur, par M. V. Vidal.

Législation des mines (Recueil de), contenant la Loi espagnole du 6 juillet 1859, la Loi italienne du 20 novembre 1859 et la Loi prussienne du 24 juin 1865, par M. Vinchent.

Liberté et le courtage des marchandises, par V. Émion.

Loi des États-Unis sur les inventions, par M. Émile Barrault.

Organisation de l'industrie. Projet des Sociétés de papeterie en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.

Organisation de l'École polytechnique et pour les ponts et chaussées, par M. Vallée.

Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.

Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.

Observations présentées à l'assemblée générale du Franco-Suisse par un actionnaire, par M. Dubied.

Observation sur le recrutement du corps des ponts et chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.

Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rapport de la commission chargée d'étudier l'organisation de l'enseignement technique en France.
Rapport sur les patentes des États-Unis, par le major Poussin.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Réduction du tarif des voyageurs des chemins de fer, par M. Vériot.
Situation des lignes télégraphiques belges en 1859, 1860 et 1861, par M. Vinchent.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique industrielle, publiée par la Chambre de commerce de Paris.
Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Allemagne, de la Suisse, de la France, de la Belgique, des Pays-Bas, et de la Russie, en exploitation, par M. Hauchecorne.
Tablettes de l'inventeur et du breveté, par M. Ch. Thirion.
Travaux statistiques de l'administration des mines.

Technologie.

Alliage des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.
Annuaire scientifique, par M. Schwaeblé.
Arts textiles à l'Exposition universelle de 1867, par M. Michel Alcan.
Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Céramiques (Rapport sur les arts) fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Conseiller du débitant, par M. du Liége.
Décoration et fabrication de la porcelaine en Chine (Rapport sur la composition des matières employées dans la), par MM. Ebelmen et Salvetat.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Éléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choimet.
Gréement, par M. Bréart.
Guide pratique de la fabrication du papier et du carton, par M. Prouteaux.
Guide pratique de la meunerie et de la boulangerie, par M. Marmay.
Guide du bijoutier, par M. Moreau.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
La science populaire, par M. Rambosson.
Matières textiles, par M. Alcan.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Nouveau Cosmos, par M. Dubois.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Rapport sur l'ouvrage de M. Alcan (Études sur les améliorations du matériel des arts textiles à l'Exposition universelle de 1867), par M. Pariset.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport des experts dans l'affaire Guebhard et Schneider, par MM. Faure, Boutmy et Flachat.
Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.

Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.

Rapport ou compte rendu de l'Exposition de Londres de 1851, par M. Lorentz.

Rapport de 1854. Patent office.

Revue rétrospective des soieries à l'Exposition universelle de 1867, par M. Pariset.

Théorie et pratique de l'art de l'ingénieur, du constructeur de machines et de l'entrepreneur de travaux publics, par MM. Vigreux et Raux.

Traité pratique de la boulangerie, par M. Roland.

Travaux de la Commission française sur l'industrie des nations (Exposition universelle de 1855).

Travaux publics.

Cathédrale de Bayeux, reprise en sous-œuvre de la tour centrale, par MM. de Dion et Lasvignes.

Construction (Cours de), par M. Demanet.

Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.

Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.

Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.

Construction du Palais de l'Exposition universelle de 1867, par M. Krantz.

Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.

Docks à Bordeaux, par M. Maldant.

Docks à Marseille (Projet de), par M. Flachat.

Docks-entrepôts de la Villette, par M. E. Vuigner.

Digues monolithes en béton aggloméré, par M. François Coignet.

Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.

Enseignement des beaux-arts, par M. E. Trélat.

Études architecturales à Londres en 1862, par M. Émile Trélat.

Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.

Exposition universelle de 1867 (Avant-projet relatif à l'), par M. A. Barrault.

Extension des travaux publics en Espagne.

L'Opéra et le théâtre de la Seine, par M. Barthélemy.

Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.

Modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figuraient à l'Exposition universelle de Londres en 1862.

Notice sur Saint-Nazaire, par M. G. Love.

Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'État, par M. A. Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Palais permanent pour l'Exposition universelle de 1867 (Note sur un), par M. Baudemoulin.

Reconstruction de l'Hôtel-Dieu (Critique sur la), par M. Ulysse Trélat.

Travaux à exécuter dans les Bouches-du-Rhône.

Vade-mecum administratif de l'Entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endrès.

DISTRIBUTION D'EAU.

Alimentation d'eau de la ville de Soissons, par les sources de la montagne Sainte-Geneviève (Projet d'), par M. Bonnataire.
Alimentation en eau de la Seine de la ville de Paris, par M. Aristide Dumont.
Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Assainissement de Paris, par M. Baudemoulin.
Dérivation de la Somme, Soude et du Morin, par M. Dugué.
Distributions d'eau, par M. Aristide Dumont.
Distribution d'eau à domicile dans la ville de Calais, 1835.
Documents sur les eaux de Paris.
Eaux de Seine de Saint-Cloud, amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Eaux de Paris (Les), par MM. Sébillot et Mauguin.
Eaux de Paris (Notice sur les), par M. Ch. Laurent.
Eaux de la ville de Liége (Rapport sur les), par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Égouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par Vereluys.
Inondations souterraines de la ville de Paris, par Vaunier.
Inondation souterraine (Rapport sur l') qui s'est produite dans les quartiers nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.
Inondations des maisons en 1856 (Rapport sur les), par M. Fourneyron.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

Albums des types des fers Zores.
Album des fers spéciaux de la Société des hauts-fourneaux et laminoirs de Martigny-sur-Sambre.
Album des fers spéciaux fabriqués par la Société de Couillet.
Art du briquetier (L'), par M. Challeton.
Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications, par M. Malo.
Bétons agglomérés, par M. François Coignet.
Bétons agglomérés (Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des) à base de chaux, par M. François Coignet.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle (Rapport sur les), par M. Delesse.
Mortiers (Traité sur l'art de faire de bons), par M. Rancourt.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.
Travaux publics (Notice sur les) de l'Exposition universelle de 1867.

OUTILLAGE.

Appareil plongeur Rouquayrol-Denayrouze, par M. A. Denayrouze.
Appareils de levage et manutention à l'Exposition universelle de 1867, par M. Haigard.

Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.

Brouette (Notice sur la), par M. Andraud.

Niveau parallèle, ou description d'un niveau à bulle d'air simplifié et perfectionné, par M. Simon.

Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.

Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.

PONTS, VIADUCS ET SOUTERRAINS.

Album des dessins d'exécution et des métrés de 36 ponts métalliques des chemins de fer méridionaux italiens, par M. Cottrau.

Album photographique du pont-viaduc sur la Seine au Point-du-Jour (chemin de fer de ceinture).

Application de la tôle à la construction des ponts de chemins de fer de ceinture, par M. Brame.

Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon Villarceau.

Bac à vapeur à Reinhausen, par M. Hartwich.

Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.

Calculs des arcs métalliques dans les cas de grandes surcharges, par M. Albaret.

Chute des ponts (De la), par M. Minard.

Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice sur la), par M. Toni Fontenay.

Construction des planchers et poutres en fer, par M. G. Joly.

Construction des viaducs, ponts-aqueducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Toni Fontenay.

Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.

Emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions, par M. Guettier.

Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, système Oudry et Cadiat.

Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.

Emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin, par M. Maréchal.

Équilibre des voûtes (Examen théorique et critique des principales théories sur l'), par M. Poncelet.

Étude comparative de divers systèmes de ponts en fer, par M. Jules Godard.

Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes à plein-cintre, anse de panier et arcs de cercle, par M. Marguet.

Mémoire de M. Fortin-Herrmann sur les fondations tubulaires.

Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, par M. Hérard.

Piles en charpente métallique des grands viaducs, par M. Nordling.

Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.

Ponts biais et ponts courbes, par M. Nordling.

Pont de Coblentz, par M. Hartwich.

Ponts en fer, par M. Hartwich.
Ponts métalliques (Nouveau système de) de grandes portées, par M. Charles de Ruppert. (Brochure.)
Ponts en bois (Types de), par M. Fressel.
Pont suspendu des Invalides. avec un atlas, par M. Navier.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-George, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts reposant sur plus de deux appuis (Étude des), par M. Albaret.
Ponts suspendus (Mémoire sur les), par M. Brissaud.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. E. Vuigner.
Pont de Castelfranc, système Cadiat et Oudry (Notice sur le).
Poutre à treillis (Étude sur la détermination du rapport existant entre les sections dangereuses des semelles et des barres inclinées à 45 degrés d'une), par M. Prou.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu, par M. Hodgkinson.
Rapport de la 23e section, chargée d'étudier le matériel et les procédés du génie civil des travaux publics et de l'architecture à l'Exposition universelle de 1867.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Recherches sur les dispositions à adopter dans l'établissement des ponts suspendus, par M. Brissaud.
Routes et ponts. Cours de l'École centrale.
Stabilité des ouvrages d'art destinés à porter de grands remblais, par M. Bernard.
Théorie élémentaire sur la construction des ponts, par M. Ritter.
Théorie pratique et architecture des ponts, par M. Brunell.
Traversée des Alpes, percement du mont Cenis, par M. Sommeiller.
Viaduc de Busseau-d'Ahun (Photographie du), par M. Nordling.
Viaducs métalliques (Rapport sur le projet de), sur la ligne de Commentry à Gannat, par M. Nordling.

PORTS MARITIMES, CANAUX.

Canal maritime d'Amsterdam à la mer du Nord, par M. Gaget.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez (Question du tracé du), par MM. Alexis et Émile Barrault.
Canal de Suez, après l'inauguration, par M. F. Conink.
Canal maritime de Rouen à Paris, 1829.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Canal maritime de Dieppe à Paris, par MM. Aristide Dumont et Louis Richard.
Chemins de halage et berges des canaux d'Angleterre et d'Écosse, par M. V. Vuigner.
Études sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F. N. Mellet.
Études sur la navigation, par M. Bounican.
Fondements sous-marins (Emploi des), pour les phares flottants, les ponts et batteries flottantes, par M. Grove.

Il canal attraverso l'istmo di Suez, par M. Kramer.
Jetées de Port-Saïd et leur ensablement, par M. Cialdi.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'isthme du Darien (Rapport sur le), par M. Lucien de Perydt.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question du), par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Projet d'un canal maritime entre Paris et la mer, par MM. A. Dumont et Richard.
Projet du port Saint-Nazaire (Notice sur le), par M. G. Love.
Procédés employés pour racheter les chutes sur les canaux de navigation, naturels ou artificiels, par M. E. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer, établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport de M. Ferdinand de Lesseps, au nom du Conseil d'administration de la Compagnie du canal maritime de Suez.
Suppression du canal Saint-Martin, et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Touage sur chaîne et sur cable métallique, par M. Bouquié.
Traction des bateaux sur les canaux, par M. Bouquié.
Traction des bateaux, fondée sur le principe de l'adhérence, par M. Beau de Rochas.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gossenet.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Brocchieri.
Travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq, par M. E. Vuigner.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Transit des navires au canal de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (Avant-projet d'un), par M. Thomé de Gamond.
Tunnel sous-marin pour l'établissement d'un chemin de fer devant relier la France à l'Angleterre, système E. Martin et Gilbert le Guay.
Turin port de mer, par M. Capuccio.
Voies navigables en Belgique, par M. Vilquain.

RÉSISTANCES DES MATÉRIAUX.

Épreuves des arcs métalliques de la galerie des machines à l'Exposition universelle de 1867, par M. Eiffel.
Études sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.
Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Murs de réservoirs (Résistance des), par M. Krantz.
Prescriptions administratives réglant l'emploi des matériaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love.

Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.
Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.
Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M. Love.
Résistance des matériaux, par M. le général Morin.
Sur la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur, par M. Love.
Théorie de la résistance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.

ROUTES.

Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Chemins vicinaux, par M. M. Volland.
Constructions des formules de transport pour l'exécution des terrassements, par M. Dinan.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais de chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.

Sondages.— Puits artésiens.

Guide du sondeur, avec atlas, par M. Degousée.
Puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Puits (Un) doit-il être ouvert ou foncé? par M. De Lacolonge.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondage (Rapport sur les travaux de) à l'Exposition universelle de 1867, par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Acier fondu (fabrication de l'), par affinage de la fonte, avec surchauffage par combustion intermoléculaire, par M. Jordan. 132

Acier fondu (conversion rapide des masses de fonte en), par MM. Galy-Cazalat et Jordan (séances 7 et 21 mai, 4 juin, 16 juillet). . . . . 236, 244, 253, et 367

Associations ouvrières en Angleterre dites Trades-Unions, par le Comte de Paris, présenté par M. Bandérali (séance du 21 mai). 242

Bétons agglomérés, par M. Coignet (séance du 2 avril). 221

Catalogue des ouvrages composant la bibliothèque 650

Centenaire de la machine locomotive et de la filature automatique (séance du 3 décembre) 525

Changement de voie Vander-Elst et Cie, par M. Cuinat (séance du 10 janvier). 50

Charges uniformément réparties équivalentes dans leurs effets aux charges d'exploitation en circulation sur les tabliers métalliques (note sur les), par M. Leygue (séance du 19 mars). . . . . 141 et 265

Chemin de fer du Pacifique, par M. Simonin (séance du 18 juin). 261

Chemins de fer d'intérêt local, par MM. Nordling, Morandière (séances des 6 août, 17 septembre et 19 novembre). . . . . 380, 400 et 520

Chemin de fer d'intérêt local, choix d'une société concessionnaire, examen de divers systèmes dits économiques (Larmenjat, Saint-Pierre et Goudol), par M. Jules Morandière 425

Cinématique (applications spéciales de la), par M. Jules Armengaud fils (séance du 20 août). 391

Colmatage, limonage et irrigations d'hiver, par M. Nadault de Buffon (séance du 5 mars). 98

Compteurs secs et humides, par MM. Ball et Maldant (séances des 5 et 19 mars) . . . . . 101 et 109

Contre-vapeur (marche à) des machines locomotives, par MM. Flachat et Fellot (séances des 7 mai, 6 août et 19 novembre) . . . . . 113 232, 375 et 517

Décès de MM. Blanc-Garin, Borel, Bouillon, Charbonnier père, Courlet, Du Pré, Galy-Cazalat, Garnier (Paul), Herter, Laurent (Victor), Mangeon, Mary, Morizot, Pepin-Lehalleur (séances des 19 février, 16 avril, 7 mai, 18 juin, 17 septembre, 5 novembre et 3 décembre. . . . 74, 225, 227, 261, 400, 513 et 525

Décorations : Ordre de la *Légion d'honneur* : Grand'Croix, M. Ferdinand de Lesseps. Commandeur : M. Chevandier de Valdrôme. Chevaliers : MM. Bellier, Brault, Champouillon, Claparède Dieudonné, Gibon Le Cler, Lecœuvre, Le Roy, Perrault et Vallier (séances des 5 mars, 2 avril, 7 et 21 mai, 20 août et 3 décembre. . . . . 98, 217, 227, 242, 389 et 525

Pages.

Décorations étrangères. Ordre de la Couronne royale de Prusse. Officier : M. Vuillemin. Chevaliers : MM. Dieudonné et Guébhard. . . . . .
Ordre de Sainte-Anne de Russie. Chevalier : M. Vuillemin. . . . . .
Ordre de Saint-Stanislas de Russie. Chevalier : M. Guébhard. . . . . .
Ordre de Charles III d'Espagne. Chevalier : M. Beugniot. . . . . .
Ordre de Notre-Dame de la Conception de Villa Viciosa de Portugal. Chevalier : M. Loisel. . . . . .
Ordre de Frédéric et de la Couronne de Wurtemberg. Chevalier : M. Nordling (séances des 16 avril, 7 mai, 15 octobre). . . . . 224, 227 et 496
Distribution à un seul et à deux tiroirs (études géométriques des appareils de), par M. Deprez (séance du 19 novembre). 519
Élections des membres du bureau et du comité (séance du 17 décembre). . . 532
Endiguements, desséchements et mise en culture des polders ou lais de mer, par M. Achille Le Cler (séance du 19 février). 80
Enseignement technique, par MM. Flachat, Mony et Tresca (séances des 22 janvier, 5 et 19 février). . . . . 52, 60 et 71
Expédition au pôle Nord, par M. Gustave Lambert (séance du 16 avril). . . 225
Fer et acier (propriétés élastiques et résistantes du), ouvrage de M. Styffe, par M. Brüll (séance du 16 juillet). 361
Grue à équilibre automatique, par M. Contamin (séances du 17 septembre, 15 octobre, 5 et 19 novembre) . . . . . 402, 496, 513 et 518
Guide pratique de l'ouvrier mécanicien, par M. Ortolan (séance du 15 octobre). 500
Huiles de pétrole (mémoire sur les), par M. A Grand 533
Industries agricoles, ouvrage de M. Ronna, présenté par M. Brüll (séance du 2 avril.. 217
Installation des membres du bureau et du Comité, discours de MM. Love et Alcan (séance du 8 janvier). 39
Jurisprudence en matière de marchés de terrassements, par M. Nordling (séance du 16 juillet). 364
Jus sucrés de betteraves par conduites souterraines (note sur le transport des), par M. Maure (séance du 5 novembre) . . . . . 407 et 513
Kaolins de Cercedilla, province de Madrid (Espagne) (note sur les), par M. A. Piquet 337
Lettres de MM. Dumas et Lavallée, membres honoraires (séance du 4 juin) . . 249
Liste générale des sociétaires. 13
Local de la Société (nouveau) (séances des 19 mars et 15 octobre) . . 112 et 496
Locomotives (note sur les locomotives), par M. Larpeut 184
Machines marines (lettres de M. de Fréminville) (séance des 22 janvier et 5 février). . . . . 52 et 60
Machines à vapeur marines (mémoire sur les conditions de travail et l'utilisation des), par MM. Normand et Mallet. 454
Médaille d'or décernée à M. Lavalley pour son mémoire sur l'État d'avancement des travaux du Canal de Suez (séance du 18 juin). 261
Milieux isotropes et sur les treillis isotropes, application du calcul des ponts et charpentes, par M. Desmousseaux de Givré (séance du 22 janvier) . . . 57
Mines d'argent de la Nevada et du Colorado, par M. Simonin (séance du 20 août). 3[illegible]
Nécrologie de Paul Garnier, par M. Flachat. . . . . 3[illegible]

Pages.

Niveau d'eau, système Richer, par M. Arson (séance du 20 août). 389
Plombs argentifères (note sur l'essai des), par M. A. Piquet. 346
Poids du mètre courant des poutres à double T, d'après leurs moments de résistance, note par M. Leygue (séance du 4 juin). . . . . 257 et 290
Poids utiles et poids morts traînés en 1867 par les locomotives. Analyse de la note de M. Haughton, ingénieur-conseil du London and North-Western Railway, par M. Marché (séance du 6 août). 384
Résumé du premier trimestre 1
Résumé du deuxième trimestre 209
Résumé du troisième trimestre. 357
Résumé du quatrième trimestre 489
Séances de la Société des Ingénieurs de Londres (analyse des résumés des), par M. Louis Leloup (séance du 15 octobre). . . . . 318 et 500
Signaux de chemins de fer, par M. Robert (séance du 22 janvier). 53
Situation financière de la Société (séances des 18 juin et 17 décembre). . 260 et 531
Statuts (modifications apportées aux) de la Société (séances des 26 février et 20 août) . . . . . 88 et 389
Tarifs différentiels (séance du 3 décembre). 527
Traction des chemins de fer du sud de l'Autriche (note sur le service de), et en particulier sur l'exploitation du Semmering et du Brenner, par M. Gottschalk. 300
Tuyaux de plomb revêtus intérieurement d'étain (coulage des), par M. Jules Morandière (séance du 17 septembre). 401
Voies de fer (recherches expérimentales faites en Allemagne sur la solidité des), par M. Nordling (séance du 3 décembre). 527
Voitures à deux étages, par MM. Love, Robert et Vidard (séances des 22 janvier, 2 et 16 avril, 7 mai, 4 juin et 16 octobre) . . 51, 219, 224, 229, 250 et 501
Voitures à voyageurs du Chemin de fer de l'Est, par M. Jules Gaudry (séance du 3 décembre). . . . . 445 et 525
Voûtes (théorie des) à l'établissement des ponts en fer, par M. Yvon-Villarceau (séance du 22 janvier). 54

Paris. — Imp. Vieille et Capiomont, 6, rue des Poitevins,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.